目次/頁

1. はじめに……1

2. 電解水とはどういう水か

水のイオン/水の電気分解/酸化・還元される水/酸化・還元状態とは……1

還元さる水－酸化される水素/酸化される水－還元される酸素……3

金属のイオン化傾向/標準電極電位/酸化還元電位……11

水の酸化還元電位/水のイオン積/電解水の酸化還元電位……14

電子活動度(Pe)と酸化還元電位(E_H)の関係……18

3. 強電解水とはどういう水か……20

強電解水の生成/強電解水中の塩素の分布……20

Pe-PH ダイァグラムの読み方 /強電解水の性質……25

強電解水の殺菌作用 ……32

4. 強電解水の農業への応用……34

農業への応用/植物とはどういうものか/植物の病気と農業……34

農業と地球環境問題……37

5. 強電解水の医療への応用……38

医療への応用……38

機能水シンポジウム『94』『機能水の基礎及び医療への応用……38

6. 強電解水ユーザー取材記……44

D 病院(総合病院)/M 干物工場/メロン栽培の M さん……44

T 食品加工/愛姫大学農学部/取材感想……45

7. 強電解水に関する Q&A……48

Q1：強酸性電解水にはどうして殺菌作用があるのですか？……48

Q2：強酸性電解水には殺虫作用は無いのですか？……48

Q3：強酸性電解水と酸性雨とはどこが違うのですか？……49

Q4：強酸性電解水は人体に害はないのですか？……49

Q5：強酸性電解水には脱臭効果があるのですか？……49

Q6：強アルカリ電解水は飲んではいけないのでしょうか？……49

Q7：強電解水はどのよう貯蔵すはよいのですか？……50

Q8：電解水と水道水はどのように違うのですか？……50

Q9：水を電気分折するとき、医療関係では食塩を添加し、農業用では塩化カリウムを添加するのは河放ですか？……50

Q10：食品関係で電解水はどのように利用されてはすか？……50

Q11：強電解水の医院での使用法を教えてください……51

Q12：強酸性電解水は水虫の治療に効果がありますか？……51

Q13：Pe、PH、E_Hの測定にはどのような器具がよいのですか？……52

Q14：電解水の酸化還元電位(EH)の測定について注意すべき点を教てください……52

Q15：強酸性電解水は鉄どにかかると錆るのではないですか？……52

Q16：強電解水を使用してなにか不具合なことは起こっていないのですか？……52

8. おわりに……53

1　はじめに

1～2 年ほど前から「強電解水」という言葉が聞かれるようになりました. これは水道水に電解物質（食塩又は塩化カリウム）を添加して電気分解した水のことです. こうして水を電気分解すると、酸性度を表す PH の値が約 2.5 の強酸性水と、PH 約 11.5 の強アルカリ水が生成されます. これを強電解水と呼んでいます. この強電解水に強い殺菌作用があることが分かり、いろいろの分野で利用されるようになりました. 実際に使用してよい成績を収めたという、たくさんの例が発表されています.

それらの例として、病院での消毒や、院内感染を起こす MRSA の殺菌等に効果があることが分かりました. このためいくつかの大学病院などですでに実際の臨床応用がなされています. また農業分野では、農薬による健康被害の大きいハウス栽培のメロンや野菜、そのほか梨などの果樹、花等に伝染する病原菌の消毒に効果があり、従来の農薬のかわりになることがだんだん分かってきました. また水産加工業でも、処理する魚の殺菌等に役立つことが分かってきました.

このような強電解水の特徴は人体に無害であることです. このためいろいろの分野での応用が考えられ、すでに企業活動も活発になって、強電解水の効果の宣伝もなされるまでになっています. その一方で強電解水の殺菌作用の原因がいまひとつはっきりしていません. ある人は PH の低いことがよい、ある人は酸化還元電位が高くなければならない、またある人は強電解水中に発生する次亜塩素酸の効果だ、また別の人は活性酸素の作用である等々と、いろいろちがった説明がなされています. 一体これらの説明のどれを信ずればよいのでしょうか. またその根拠は何なのでしょうか. そのことを明らかにするのがこの本の目的です.

そこでそもそも水の電気分解とはどういう原理に基づくものか、それから得られる電解水にはどんな性質があるのか、また食塩を添加して生成される強電解水は、どのように性質が変わってくるのか等について物理・化学的な検討を行いました. その結果いままで指摘されていなかった強電解水の新しい特徴が明らかになり、殺菌作用の原因もはっきりしてきました.

強電解水に関心のあるすべての方々に役立つことを願っています.

なお電解水に関する用語について、(財)機能水研究振興財団で暫定的に定めたものがありますが、この本では以下のように省略して用いています.

酸性電解生成水溶液　→ 酸性電解水
強酸性電解生成水溶液 → 強酸性電解水
弱酸性電解生成水溶液 → 弱酸性電解水
塩基性生成水溶液　→ アルカリ電解水
強塩基性生成水溶液　→ 強アルカリ電解水
弱塩基性生成水溶液　→ アルカリ電解水

2.電解水とはどういう水か

この章では、水の電気分解とはどういうことなのか、電気分解してできる電解水とはどういう水なのか、また電解水は普通の水とどこが違うのか等について述べます.

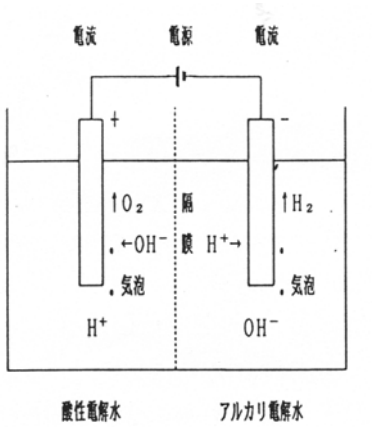
2-1　水のイオン

水は、水素原子（H）2 個と酸素原子(O)1 個が結合して、H_2O という分子をつくり、これがいくつかつながった形で存在しています. この水は通常わずかに解離して、プラスの一電気をもつ水素イオン(H^+)とマイナスの電気をもつ水酸化物イオン(OH^-)に解れていますが、その量は通常全体の水のわずか 1 億分の 1 に過ぎません. ここでイオンというのは、原子または分子が電子を失ってプラスの電気を帯びたもの、または電子を付加されてマイナスの電気を帯びたもののことをそう呼んでいます. プラスの電気を帯びたものはプラス・イオン、マイナスの電気を帯びたものはマイナス・イオンと呼ばれます.

水を電気分解すると、これらのイオンの量を人工的に多くすることができ、1 万倍以上に増やすことができます．それでは水はどのようにして電気分解されるのでしょうか．また H^+や OH^-の増えた水は、いったいどのような性質を持つのでしょうか．

2-2　水の電気分解

水を電気分解するためには、まず通常の水道水を電気分解槽に入れます．一例として図 2.1 に示す電気分解槽には、左右両側に、電極として白金などの金属板やフェライト棒などが設置されており、その両電極間に電源をつないで電流を流します．この電解槽の真申には、隔膜と呼ばれる半透明の膜が設置されています．ここで半透明というのは、水の中の成分のうち、ある大きさ以下のものは通過させ、それ以上の大きさのものを阻止する性質のことをいいます．



！ さて電源スイッチをオンにしてしばらくすると、両電極の表面から気泡が出はじめます．この気泡の成分は、プラス電極で酸素ガス $O_2(g)$、マイナス電極では水素ガス $H_2(g)$であることが分かります．ここで(g)と書いてあるのは gas の省略形で、気体(ガス)であることを表しています．酸素ガスと水素ガスは気泡となってどんどん空気中に逃げますが、これらの一連の反応は、次の 3 つの化学反応式で表されます．

解離

$H_2O \Leftrightarrow H^+ + OH^-$　　$K_1=10^{-14.0}$　(2.1)

(水)　再結合　(水素ｲｵﾝ)　(水酸化物ｲｵﾝ)

還元反応

$2H^+ + 2e^- \Leftrightarrow H_2(g)$　　$K_2=10^{0.0}$　(2.2)

(水素ｲｵﾝ)　(電子)　酸化反応　(水素ガス)

$4OH^- = O2(g) + 2H_2O + 4e^-$　　$K_3=10^{-27.1}$　(2.3)

(水素ｲｵﾝ)　(酸素ｶﾞｽ)　(水)　(電子)

ここで K_1、K_2、K_3 はそれぞれの反応の平衡定数を表します．(2.1)式は、左辺の水(H_2O)が解離して、右辺のプラスの電気をもつ水素イオン(H^+)と、マイナスの電気をもつ水酸化物イオン(OH^-)になることを表しています．ここで解離というのは、このようにもともと中性のものが解れて、プラスとマイナスの電気をもつイオンになることをいいます．

また(2.1)式を右から左へ見ると、H^+と OH^-が結合して水(H_2O)に環ることが可能です．この反応を再結合と呼んでいます．水素イオン(H^+)は、水素原子から電子 1 個が取り去られてプラスに帯電したものです．水素原子は、もともと電子 1 個しか持っていませんので、電子 1 個をとられると水素の原子核だけとなり、これは陽子またはプロトンと呼ばれます。普通水素以外の元素は、特別の場合を除いて、原子核だけになることはありませんが、水素は容易に裸の原子核の状態になるのです．自然界では、この電子(e-)は水素イオン(H^+) がたいへん重要な役目をしています．

地球は水の惑星と呼ばれ、豊富な水のあることが特徴になっています．この水によって生物が生まれ、また生物はこの水によって生かされています．地球上のどこにでもあるこの水から、容易に水素イオンが発生しているのです．ここで、水素イオンや水酸化物イオンの濃度を表す仕方として、モル濃度というものを定義して [ ] で表します．そうすると平衡状態では

$[H^+] = [OH^-]$　　(2.4)

(水素ｲｵﾝ濃度)　(水酸化物ｲｵﾝ濃度)

の関係が成り立ちます．モル濃度は、原子量にグラムをつけただけの量が、水 1 リットル中に存在する場合の濃度に相当します．(2.4)式の $[H^+]$ は、水 1 リットル中に水素イオンが 1 グラム存在するとき、濃度が 1 モル/リットルとなり、1M で表します．また［ OH^- ］ は、水 1 リットル中に水酸化物イオンが 17(＝16＋1)グラム存在するとき 1M となります．上の 16 という数字は酸素の原子量に相当します。(2.4)式の両辺を重量で比べると、左辺の水素イオンが 1 グラムで、右辺の水酸化物イオンが 17 グラムですから、 1 グラム＝17 グラム （？）と書くのはたいへん奇妙に思われるかも知れませんが、モル濃度で表すとこれが等しくなるのです．化学や物理学ではこのように、たくみに物事の法則性を見出しているのです．

結局（2.1）式は、水(H_2O)の各分子が、一個の水素イオン(H^+)と、一個の水酸化物イオン(OH^-)に解離していることを表しています．n モルの H_2O からは、n モルの H^+ と n モルの OH^- が解離されます．このとき(2.4)式を［質量平衡式］と呼びます．

また(1.4)式には、プラスとマイナスのイオンがそれぞれ 1 個ずつ存在して、電荷の総量では± 0 になっています．これを「電気中性式」と呼びます． さらに（2.4）式は、水素の原子核（プロトン）と水酸化物イオンが平衡状態になっていますが、これを簡単に「プロトン平衡式」と呼びます． 以上の「質量平衡式」、「電気中性式」「プロトン平衡式」の 3 つは、これから述べる水の酸化還元反応の 3 原則になります．

(2.2)式はマイナス電極で、2 個の水素イオン(H^+)が、2 個の電子(e^-)を得て、水素分子(H_2)になることを表しています．この水素は気泡となって空気中へ出て行く気体です．

ここで注意しなければならないことは、(2.2)式左辺の電子はもともと水の中に遊離して存在していたのではなく、その電子は電極から与えられたものである点です．電極は電源につながれており、電源から供給される電子が、電極を通って水中に与えられたものです．

(2.3)式はプラス電極で、4 個の水酸化物イオン(OH^-)が電極に $4e^-$ の電荷を与えて、電気をもたない酸素分子 O_2(g)と 2 個の水分子(H_2O)ができることを表しています．

(2.1)式で水分子が解離して水素イオンと水酸化物イオンに解れることを述べましたが、実は水素イオン(H^+)は水中で単独で存在しているのではなく、他の水分子(H_2O)と結合して H_3O^+ の形をしています．このように水分子と結合したイオンのことを、一般に水和イオンと呼んでいます・これは水分子の構造が H-O-H のように直線状に結合しているのではなく、その角度が 104.5 度と狭まっているため、一個の水分子に電気モーメントが生じ、この電気力によってイオンと結合する傾向が生ずるのです。したがって(2.1)式は、実際の反応としては

$2H_2O＝H_3O^+＋OH^-$ (2.5)

と書くことができます．この H_3O^+ はヒドロニウムイオンと呼ばれます．

2－3 酸化・還元される水

(2.2)式では、左辺の水素イオンが電子を得て、右辺の水素分子になっています．このように電子を得る、左辺から右辺への反応は還元反応と呼ばれます．(2.2)式は水素イオンが還元されて水素分子になることを示しています。

逆に、(2.2)式を右から左へ見ると、右辺の水素分子は電子を放出して左辺の水素イオンになっています．この電子を放出する化学変化を酸化反応と呼びます．(2.2)式は水素分子が酸化されて、水素イオンになることを表しています． このように、還元反応は逆から見れば酸化反応になり、酸化反応も逆から見れば還元反応になります．このような反応の形式は可逆反応と呼ばれます．還元反応と酸化反応は可逆の関係にあって、一つの式で表すことができ、これを酸化還元反応と呼びます．酸化還元反応のうちどちらか一方向の反応を半反応と呼んでいます．酸化還元反応はまたレドックス反応とも呼ばれ

ます. レドックス(Redox)とは、英語で還元・酸化を表す Reduction-oxldatioa の省略されたものです. 通常(2.2)式のように、電子記号(e-)が左辺に来るようにして、還元反応の形に書くことが慣例になっています. 従って平衡定数 K は還元反応の反応係数で与えられることになります.
この慣例に照らして(2.3)式を見ると、電子記号が右辺にありますから、左辺と右辺を入れ替えて、(2.6)式のように表すのが普通です.

・ 還元反応

O_2 (g) ＋ $2H_2O$ ＋ $4e^-$ ⇔ $4OH^-$ $K4=10^{27.1}$ (2.6)

(酸素ｶﾞｽ) (水) (電子) 酸化反応 (水酸化ｲｵﾝ)

左から右へ進む反応が還元反応、右から左へ進む反応が酸化反応になります.
さて電気分解を進めて行くと、マイナス電極では(2.2)式で表されるように水素ガス(H_2)が発生し、(2.1)式の水の解離でできる水素イオン(H^+)が、水酸化物イオン(OH^-)に比べて相対的にどんどん減って行きます.逆に水酸化物イオンが増えてくるので、マイナス電極付近の水はアルカリ性になって行きます. この過剰になった OH^-イオンと、発生する水素ガスが反応して、次の酸化反応が起こります. これが(2.7)式の右から左へ進む反応になります。

還元反応

$2H_2O$ ＋ $2e^-$ ⇔ $H_2(g)$ ＋ $2OH^-$ K_7 $=10^{-28.0}$ (2.7)

(水) (電子) 酸化反応 (水素ｶﾞｽ) (水酸化物ｲｵﾝ)

逆に(2.7)式を左から右へ見ると、左辺の水(H_2O)に電子を与えて還元すると、水素ガス $H_2(g)$ と水酸化物イオン(OH^-)になることが示されています。こうして H_2 は酸化されて H_2O になり、H_2O は還元されて H_2 になることが分かります.

一方プラス電極では、酸素ガス(O_2)が発生して OH^-イオンが失われ、相対的に水素イオン(H^+)が過剰になりますから、プラス電極付近の水は酸性になって行きます。この過剰になった H^+イオンと酸素ガスが反応して、次の還元反応が起こります.

還元反応

$4H^+$ ＋ O_2 (1 atm) ＋ $4e^-$ ⇔ $2H_2O$ K_8 $=10^{83.1}$ (2.8)

(水素ｲｵﾝ) (酸素ｶﾞｽ) (電子) 酸化反応 (水)

酸素ガスが水素イオンと反応するとき、電子が付加されて水に還元されています。またこの式を右から左へ見ると、水 (H_2O) が酸化されて電子をとられて酸素ガス(O_2)と水素イオン(H^+)になることを示しています.
(2.8) 式左辺の酸素は気泡となって電極の表面に沿って水中で上昇しています. 水面の上には空気があり、大気の圧力がかかっています. この大気の圧力の強さは 1 気圧(1atm)ですから、水中の気泡がこの圧力に抗して上昇するためには 1 気圧以上の圧力にならなければなりません. つまり水中の酸素の圧力がちょうど 1 気圧になったとき、気泡が上昇し始めるのです. すなわち(2.8)式の水中酸素の圧力は、ちょうど 1 気圧であることが分かります.
このように電解槽中に入れた水は、水面の上から 1 気圧の空気で押さえられています. 空気は主に窒素 (N_2) と酸素 (O_2) からできており、酸素は 1 気圧のうちの 0.21 気圧だけの分圧を占めています. したがちて電気分解を止めたあとでは、水素イオンは 0.21 気圧の酸素ガスと反応することになります. すなわち

還元反応

$4H^+$ ＋ O_2 (0.21atm) ＋$4e^-$ ⇔ $2H_2O$ (2.9)

(水素ｲｵﾝ) (酸素ｶﾞｽ) (電子) 酸化反応 (水)

(2.9)式は水を放置しておくだけでも、空気中の酸素によって自然に水の性質が変わって(酸化されて)

行くことを示しています．　このように水(H_2O)は酸化されたり還元されたりして、いろいろの状態をとることができます．このことは、水は一見同じように見えても、その状態は刻々と変化し、決して同じ状態に止まっていないことを示しています．生命活動にとっていちばん大事な水の、このような性質をよく理解しておくことが大切です．

2−4　酸化・還元状態とは

上の議論で、水が酸化されたり、還元されたりすることが分かりました．それではここで、酸化されたり還元されたりした状態とは、いったいどういう状態を指すのかを考えましょう．

一般に酸化という現象は、相手から電子を奪う作用と考えることができます．電子を奪われた物質は酸化された、また逆に、電子を得たものは還元されたと呼ばれます。電子を奪う能力のあるものは酸化剤、電子を与える能力のあるものは還元剤と呼ばれます．

物質を構成する原子の酸化の程度を表す酸化状態を(II)．(I)．(0)．(-I)．(-II)等の記号を用いて表すことができます．これを酸化数 2、1、0、−1、−2 等と呼ぶこともあります．一記号がつく方は、還元状態を表します・

酸化作用と還元作用は、電子をとられる作用か、電子を与えられる作用かの違いで決まりますが、このような電子をやりとりする性質はどこから来るのでしょうか・それは原子や分子の構造の中に、電子がどのような配置で存在しているかで決まってくるのです．

それでは水(H_2O)の中に存在する水素イオン(H^+)、水素分子(H_2)、水酸化物イオン(OH^-)、および酸素分子(O_2)の電子構造はどうなっているのでしょう．

まず酸素の場合について考えます．酸素原子(O)の原子番号は 8 で、原子核の周りに 8 個の電子が回転運動をしています．一般に電子の回転軌道には、原子核に近い方から順に K 殻、L 殻、M 殻、N 殻、O 穀、P 殻、Q 殻と名付けられる球状の殻があり、K 殻から順にエネルギー準位（レベル）が高くなって行きます．電子はなるべくエネルギー準位の低い軌道に沿って、回転しようとします。しかしそれぞれの球殻に入ることのできる電子の最大数、つまり電子の定員数には制限があり、原子核に最も近くて、エネルギー準位の最も低い K 殻から順番に詰まって行きます．K 殻の電子定員数は 2 個、L 殻の定員数は 8 個、M 殻の定員数は 8 個等のように決まっています．原子の持つ電子の数は一定であるから、これらの電子がいちばん内側の殻から順番に詰まって行くと、いちばん外側の殻には規定の定員数だけの電子が入る場合もありますが、定員数より少ない数の電子が入ることもあります．最外殻軌道に電子がちょうど詰まった状態の原子は安定な原子となります．最外殻の電子が全部詰まっていない状態では、不安定な原子となり、この場合は他の原子や分子から電子を奪って、最外殻の電子定員いっぱいにしようとするか、あるいは余分の電子を放出しようとする性質が出てきます．

酸素原子の 8 個の電子は、まず K 殻に点定の定員数の電子 2 個が入り、次いで L 殻軌道に残り 6 個の電子が入ります。しかし L 殻の軌道電子の定員数は 8 個ですから、さらに 2 個の電子が不足しています．このため酸素は、他から電子 2 個を奪おうとする性質をもっています。このことが酸素の酸化作用の元になっています．次に酸素原子 2 個が集まって酸素分子(O_2)をつくる場合を考えましょう．酸素分子(O_2)は、2 個の酸素原子がそれぞれ 2 個の電子を出し合って、最外殻電子がそれぞれ 8 個になるような形に結合して、安定な分子をつくったものです．

このような酸素分子の電子結合状態を図 2.2 に示します・矢印は電子の自転運動(スピン)を表し、上向き矢印が右回りの電子、下向き矢印が左回りの電子を表し、それぞれが対をなしています．このように電子が対をなして存在する場合は安定で、電子が一個だけの不対電子の状態では不安定になります．

このようにして、それぞれの酸素原子の K 殻に 2 個の電子、L 殻に 8 個の電子が存在するような配置になったものが酸素分子(O_2)なのです．

このように酸素分子(02)は、2 つの原子がお互いに電子を共有する。新しい混成軌道という物を形成して、分子となっています。分子の最外殻電子について、電子が定員数に達しているかどうかで、はかの原子・分子と反応しやすいかどうかが決まります．つまり化学反応とは、このような電子の結びっきの仕方であると考えることができます．

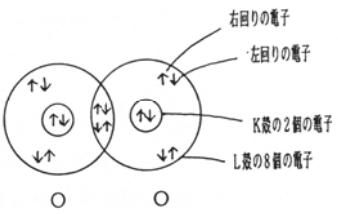


図 2.2 酸素分子(02)の電子結合状態

このようにしてできた酸素分子を構成する酸素原子の酸化状態（又は酸化数）は、それぞれ 2 個の電子を放出することで(II)となりますが、一方で 2 個の電子を得ることで(-II)となりますから、その合計では、II-II＝0 となります．この結果、酸素分子の酸化状態は(0)になります．つまり、酸素は 0_2 分子の形になっているときは、酸化も還元もされていない状態にあると見ることができます．

このように、一般に、同種原子が結合してできる分子の酸化状態は(0)になっています．

酸素原子は電子と結合する能力が強いので、不安定な原子（0）の状態で存在することはありません．水(H_2O)の中では普通水酸化物イオン(OH^-)と酸素(O_2)の形で存在しますが、過渡的には過酸化水素(H_2O_2)等の活性酸素の状態をとることもあります．このことについてはあとで詳しく述べることにします。

(3－4 強電解水の性質).

水酸化物イオン(OH^-)を構成する酸素原子（0）は、水素原子(H)の持つ電子 1 個のほかに、もう 1 個別の電子を得てＬ殻を埋めています．このため、マイナスの電荷 1 個が過剰になってマイナスのイオンとなっています．こうして水酸化物イオンを構成する酸素原子(0)は、電子 2 個を得て還元されたた状態になっており、その酸化状態は(-II)となります．

一方水素原子の方は電子 1 個を酸素に与えることによって、自身は酸化された状態になっており、その酸化状態は(I)となります．こうして OH^-イオンの酸化状態は-II+I＝－Ｉとなり、結局(-I)なります．これは OH^-イオンのイオン価に等しい値です．

次に水素イオン(H^+)は、マイナスの電気をもつ電子 1 個を放出することによって、プラス・イオンになっていますから、酸化された状態になっており、その酸化状態は(I)となります．これもイオン価数に等しい値になっています．　このように、一般にイオンの酸化状態はイオン価数に等しくなります．

水素分子(H_2)の場合も、水素原子(H)2 個がそれぞれ 1 個ずつの電子を出し合って結合します．したがって、酸素分子の場合と同様の理由で、酸化状態は(0)になります．

2－5　還元される水-酸化される水素

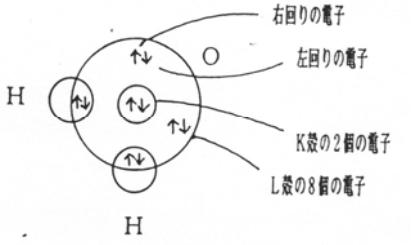


図 2.3 水分子(H_2O)の電子結合状態

以上のようにして酸化状態（酸化数）というものが決まります．それでは水(H_2O)の酸化状態はどうなっているのでしょうか．原子番号 1 の水素原子(H)は電子を 1 個しか持っていないので、2 個の水素がそれぞれ電子 1 個ずつを出して、2 個の電子を欲しがっている酸素原子(0)と、電子を共有して結合し、水分子(H_2O)を作ります．

このような結合の形を共有結合と呼んでいます．水分子の電子結合状態を図 2．3 に示します．

！ こうして水（H20）を構成する 2 個の水素原子は、それぞれ電子 1 個を出しているので、自身は酸化されており、その酸化状態は(I)となります。一方、酸素原子は電子 2 個を貰った形になっているので、還元された状態になっており、酸化状態は(-II)となります。この結果水分子の酸化状態は、I+I-II＝0 で、(0)になっています．

この酸化状態についてはまた別の見方もできます．水素原子の方が、酸素原子からそれぞれ電子 1 個ずつをもらうことで還元されて(-I)の状態になり、酸素は電子 2 個をとられて酸化され(II)となるという見方です．この場合-I+1-II＝0 となり、結果は同じことになります．

上の議論は通常の状態の水分子について考えたもので、電気分解される水については、酸化されたり還元されたりする状態が発生します・水を電気分解する場合は、外部から与えられる電気エネルギーによって、強制的に電子のやりとりを行なわせることができるので、この過程で酸化・還元の状態が起こってくるのです.

それでは水(H_2O)と、その分解成分である H^+、OH^-、H_2、O_2 の間にどのような酸化・還元関係が成立しているのかを検討してみましょう・

(1) (2.1)式

$H_2O=H^+ + OH^-$ (2.1) から、H_2O が解離して H^+と OH^-を生じていますが、ここでは電子のやりとりはありませんので、H^+と OH^-の酸化状態は同一レベルで、H_2O と同じ状態であることが分かります.

(2) (2.2)式

$2H^+ + 2e^- = H_2$ (2.2) では、H^+が還元されて H_2になることことから、H^+の酸化状態が H_2 より高いことが分かります・

(3) (2.6)式

$O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$ (2.6) では、O_2が還元されて OH^-になることから、OH^-の酸化状態が O_2 より低いことが分かります.

以上の(1)(2)(3)の考察から H_2O、H^+、OH^-、H_2、O_2の酸化状態をグラフで表すと図 2・4 のようになります・これから H_2O の酸化状態は、水素から見れば酸化されて(1)になっていますが、酸素から見れば還元されて(-1)なっていることが分かります。酸化･還元は電子のやりとりで決まるので、図 2.4 の縦軸は電子(e-)の活動度を表すものとして Pe という指数をとることにします。いま考えている水には特別に何も溶かしておらず、自然に H^+と OH^-等が解れて発生しているだけですから、溶液としての水は無限に希釈した状態にあると考えられます. このような無限希釈の水の場合は、Pe は電子の濃度で表すことができます. これについてはあとで定義することにします. また横軸には水素イオン (H^+) の活動度を表す PH をとることにします. PH の定義式もあとで与えることにします.

ここで図 2.4 に示された､水に関係のある各成分間の境界線(1)(2)(3)(4)(5)が実際にどうなっているのかを深ってみましょう。

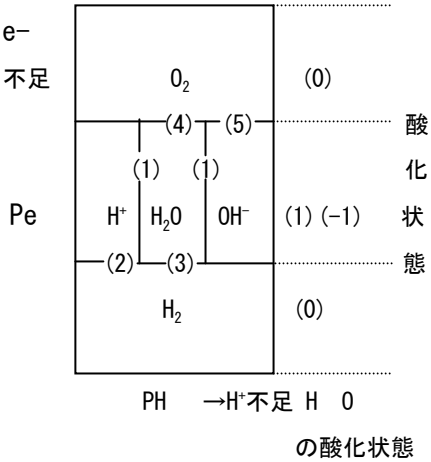


図 2.4 水の酸化･還元状態

(1)H+と OH-の関係を表す(2.1)式

$H_2O = H^+ + OH^- \quad K_1 = 10^{-14.0}$ (2.1)

から平衡定数 K_1 は

$K_1 = 10^{-14.0} = [H^+][OH^-]$ (2.10)

で与えられます。(2.10)式の両辺の対数(log)を取ると

$\log K_1 = -14.0 = \log [H^+] + \log [OH^-]$ (2.11)

ここで､平衡状態では

$[H^+] = [OH^-]$ (2.4)

が成り立つことを考慮すると､(2.11)式は

$-14.0 = 2\log [H^+]$ (2.12)

となります。ここで水素イオンの活動度が､近似的に水素ｲｵﾝ濃度 $[H^+]$ を用いて

$PH = -\log [H^+]$ (2.13)

で表されることを考慮すると､(2.12)式は

$PH = 7.0$ (2.14)

となります。ここで近似的と言ったのは、正確には活量濃度 a(H^+)というものをとらなければならないからです。(2.14)式は図 2.4 のグラフ上で PH＝7 のところに立てた垂直線を表します．すなわち H^+と OH^-は PH＝7 のところで等モル濃度になり、そこから左右へ離れるにしたがって、H^+又は OH^-の渡度がそれぞれ増大して行きます．H^+の濃度が増大した方(PH の低い方)が酸性、OH^-が増大した方(PH の高い方)がアルカリ性になります．これらの H^+と OH^-は、H_2O と共存する関係になっています．

(2) H^+と H_2の関係

H^+と H_2の関係を求めるのには(2.2)式を用います．

$2H^+ + 2e^- = H_2$ (g)　　$K2 = 10^{0.0}$　　(2.2)

(2.2)式の平衡定数 K_2は次式で与えられます．

$K_2 = 10^{0.0} = [H_2(g)] / [H^+]^2 [e-]^2$　　(2.15)

(2.15) 式の両辺の対数(log)をとると

$\log K_2 = 0 = \log [H_2(g)] - 2\log [H^+] - 2\log [e-]$　(2.16)

ここで(2.13)式の PH と同様に、Pe を次式のようにとることにします．

$Pe = -\log [e-]$　　(2.17)

通常、水素イオン［H^+］と電子［e-］の濃度は 10^{-n}の形で与えられ、-log をとると、n という簡単な形になります．これをそれぞれピーエッチ又はペーハー(PH)及びピーイー(Pe)と呼びます．Pe を近似的に電子の活動度と考えることができます．こうすると(2.16)式より

$Pe = -(1/2)\log P_{H2} - PH$　　(2.18)

となります．ここで H_2は気体ですから、$\log P_{H2}$は水素のガス圧の対数をとることになります．いま P_{H2}＝1 気圧の場合は log(1)＝0 になり、結局(2.18)式は

$Pe = -PH$　　(2.19)

となります。(2.19)式は PH＝0 では Pe＝0 となり、図 2.4 の H^+と H2 の領域を区切る直線(2)は、実は水平線ではなく、(2.19)式の微分で表される傾斜をしていることが判ります。

$D(Pe)/d(PH) = -1$　　(2.20)

この値が-1 に成ることは、この直線が右下がり 45°の直線に成ることを示しています。この間系を(2.14)式の関係とともに図 2.5 に示します。図 2.5 では縦軸と横軸の一目盛りの長さが違うので、直線の傾斜が正確に-45°になってはいませんが、PH が 0 から 14 迄変化するとき、Pe が 0 から-14 迄変化している事に注意して下さい。

いませんが、PH が 0 から 14 まで変化するとき、Pe が 0 から－14 まで変化していることに注意してください．

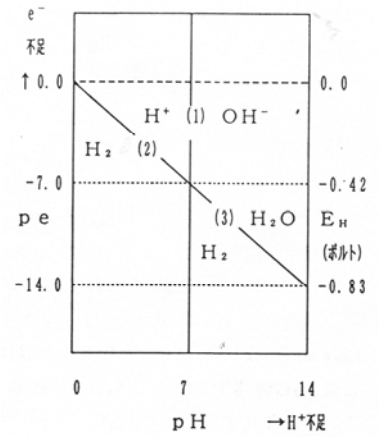


図 2.5 還元された水の境界線

なお電子活動度(Pe)と酸化還元電位(E_H)の間には一定の関係がありますから、図 2.5 の右の縦軸に E_Hの目盛りをつけてあります．

このことについては 2-13(電子活動度 Pe と酸化還元電位 E_Hの関係で述べることにします．

(3) H_2O と H_2の関係

次に、図 2.4 の H_2O と H_2の関係を表す境界線(3)がどうなっているのかを求めるのに、(2.7)式を用います．

$2H_2O + 2e- = H_2(g) + 2OH^-$　$K_7 = 10^{-28.0}$　　(2.7)

(2.7)式の平衡定数 K_7は次式で与えられます．

$K_7 = 10^{-28.0} = [H2(g)][OH^-]^2 / [e-]^2$ (2.21)

(2.21)式の両辺の対数(log)をとると

$\log K_7 = -28.0 = \log [H_2(g)] + 2\log [OH^-] - 2\log [e-]$ (2.22)

(2.22)式の H2(g)は 1 気圧ですから $\log P_{H2} = 0$ になります．また(2.11)式

$\log K_1 = -14.0 = \log [H^+] + \log [OH^-]$ (2.11)

から

$\log [OH^-] = -14.0 + PH$ (2.23)

であることを考慮すると、(2.22)式から

$-28.0 = 0 + 2(-14.0 + PH) + 2Pe$ (2.24)

これから

$Pe = -PH$ (2.25)

が求まります．(2.25)式は(2.19)式と等しく、H_2O と H_2 の境界線(3)は、H^+ と H_2 の境界線(2)と同一であることが分かります．こうして還元された水の境界線(2)(3)は同一の直線で表されることが分かります．

図 2.4 に示された、酸化された水の境界線(4)(5)については次節で述べることにします．

2－6　酸化される水-還元される酸素

水(H_2O)が酸化されて酸素(O_2)になることについては、(2.8)式で述べました．

還元反応

$O_2(g) + 4H^+ + 4e- \Leftrightarrow 2H_2O \quad K_8 = 10^{83.1}$ (2.8)

酸化反応

ここで(2.8)式の右辺の H_2O は、左向きの酸化反応によって左辺の $O_2(g)$ になります．また逆に左辺の酸素ガス $O_2(g)$ は還元されて、右辺の水(H_2O)なります．

この反応では、O_2 が H_2O に還元されるのに 4 個の電子（4e-）を必要としていますが、その前に 2 個の電子を得て過酸化水素(H_2O_2)になる反応があります．

還元反応

$O_2 + 2H^+ + 2e- \Leftrightarrow H_2O_2 \quad K_{26} = 10^{23.5}$ (2.26)

酸化反応

この過酸化水素(H_2O_2)が更に還元されて水（H_2O）になります．この反応が

還元反応

$H_2O_2 + 2H^+ + 2e- \Leftrightarrow 2H_2O \quad K_{27} = 10^{59.6}$ (2.27)

酸化反応

で表されます。

！以上の反応を逆にたどれば、(2.27)式で水(H_2O)が酸化されてまず過酸化水素(H_2O_2)になり、更に(2.26)式で酸化されて酸素(O_2)になることが分かります．従って酸素原子(O)の酸化の状態は、酸素分子($O_2(g)$)について(0)、過酸化水素(H_2O_2)の状態で(-I)、水(H_2O)の状態で(-II)の順になっていることが分かります．

この状態を図 2.6 に示し、$O_2(g)$ と H_2O_2 の境界線を(6)、O_2 と H_2O の境界線を(7)、H_2O_2 と H_2O の境界線を(8)として、それぞれの境界線がとうなるかを求めてみましょう。！

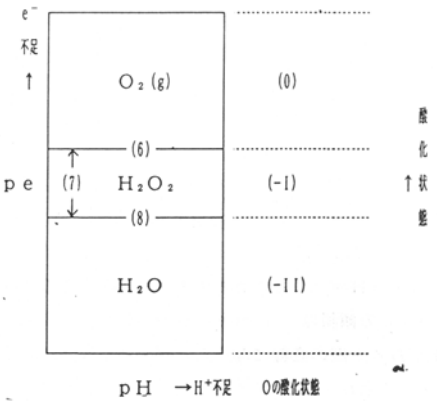


図 2.6 酸化水-還元される酸素

(1) O_2 と H_2O_2 の関係

まず O_2(g)は H_2O_2 の境界線（6）については(2.26)式を用います.

$O^2 + 2H^+ + 2e^-$ ＝ H_2O_2　$K_{26} = 10^{23.5}$　　(2.26)

(2.26)式の還元半反応の平衡定数 K_{26} は、次式で与えられます.

K_{26} ＝$10^{23.5}$ ＝ $[H_2O_2] / [O_2] [H^+]^2 [e-]^2$　　(2.28)

（2.28）式の両辺の対数(log)をとると

$\log K_{26}$ ＝23.5 ＝ log $[H_2O_2]$ − log $[O_2]$ − 2 log $[H^+]$ − 2 log [e−]　　(2.29)

ここで

$[H_2O_2] = [O_2]$　　(2.30)

になる境界線(6)においては

23.5 ＝ 2PH ＋ 2Pe

これから

は 30〉

Pe＝11.75−PH　　(2.31)

(2.31)式で PH＝0 のとき Pe＝11.75 となります.

また境界線(6)の傾斜は、d（Pe）／d(PH) ＝ −1 で与えられ、右下がり 45 度の直線になることが分かります. この関係を点線(6)で図 2.7 に示します.

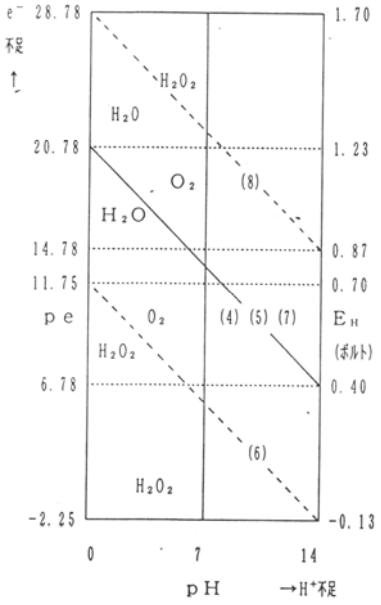


図 2.7 酸化される水

(2) O_2 と H_2O の関係

ここで図 2.4 に示した 02 と H20 の境界線(4)と、図 2.6 に示した境界線(7)に付いて考えます。この場合(2.8)式

O_2（g）＋ $4H^+ + 4e-$ ⇔ $2H_2O$　K_8 ＝ $10^{83.1}$　　(2.8)

の還元半反応の平衡定数 K_8 は次式で与えられます。

K_8 ＝$10^{83.1}$ ＝1/ $[O_2$（g）$]$ $[H^+]^4$ $[e-]^4$　　↖ 3/43↗

↖ 3/43↗ 式の両辺の対数(log)をとると

log K_8 ＝83.1＝−log $[O_2(g)]$ −4log $[H^+]$ − 4log [e−]　↖ 3/44↗

ここで酸素のガス圧を 1 気圧とすると、log $[O_2(g)]$ ＝ log Po_2＝0 になりますから、↖ 3/44↗ 式は

83.1＝4PH＋4Pe

これから

Pe＝20.78−PH　　↖ 3/45↗

↖ 3/45↗ 式から、PH＝0 のとき Pe＝20.78　となり、O_2(g)は H_2O の境界線(4)(7)の傾斜は−1 で、右下がりの直線になります. この関係を図 2.7 に直線で示します・

図 2.7 において H_2O_2 と O_2 の境界線(6)は、H_2O と O_2 の境界線(4)(7)より下にありますから、図 2.6 と矛盾するように見えますが、これは過酸化水素(H_2O_2)が水(H_2O)の酸化の初期の段階で発生することを示しています。従って、(2.34)式で表される酸素と水の状態では、H_2O_2 は分解されて O_2 と H_2O になってしまっていることを表しています。

)4*!I₃!P₃ラ I₃P ワ驤決

図 2.6 に示した H_2O_2 と H_2O との境界線(8)について考えます. この場合は(2.27)式

H_2O_2 ＋ $2H^+$ ＋ 2e− ⇔ $2H_2O$　K_{27} ＝$10^{59.6}$　　(2.27)

の還元半反応の平衡定数 K_{27} は次式で与えられます。

K_{27} ＝ $[H_2O]^2 / [H_2O_2] [H^+]^2 [e-]^2$　　(2.35)

ここで H_2O 中の O と、H_2O_2 中の O が等モル濃度になるところは

$[H_2O] / 2 [H_2O_2] = 1$ (2.36)

で与えられます. (2.36)式の左辺の分母に 2 がついているのは、H_2O_2 中に O が 2 個あるからです. (2.35)(2.36)式から次式が成立します.

$[H_2O] / 2 [H_2O_2] = K_{27} [H^+]^2 [e-]^2 / 2 [H_2O] = 10^{59.6} 10^{-2PH} 10^{-2Pe} / 2X55.5 = 1$ (2.37)

ここで 55.5 は水のモル分率の値です. (2.37)式から Pe－PH の関係を求めると

$Pe = 28.78 - PH$ (2.38)

が成立します. (2.38)式で表される H_2O_2 と H_2O の等モル濃度境界線(8)を図 2.7 に点線で示します.

図 2.7 において H_2O_2 と H_2O の境界線(8)は、O_2 と H_2O の境界線(7)より上にあります。これは図 2.8 の酸化状態図と矛盾しています. 水(H_2O)は(2.34)式

$Pe = 20.78 - PH$ (2.34)

において 1 気圧の酸素と平衡に達することから、水中で発生する過酸化水素は、より酸化状態の高い酸素と、より酸化状態の低い水の両方に分解してしまうと考えられます. すなわち

$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$ (2.39)

このような反応を不均化反応と呼びます. つまり水の電気分分解よって発生する過酸化水素は、不均化反応によって酸素と水に分解してしまい、水中に止まることはありません。

H_2O_2 は活性酸素の一種と見なされていますが、水の電気分解中には更に別の形の活性酸素が発生します。そのことについては 3－4 で詳しく述べることにします。

水の電気分解が停止すると、水中の酸素は大気中の酸素（0.21 気圧）は釣り合うことになり、反応式は

$4H^+ + O_2$ (0.21atm) $+ 4e^- \Leftrightarrow 2H_2O$ (2.9)

になることについては前に述べました.

図 2.5 と同様に、図 2.7 の右の縦軸に酸化還元電位(E_H)を目盛っておきます.

(4) O_2 と OH^- の関係

最後に図 2.4 に示した O_2 と OH^-の境界線(5)について考えます. この場合(2.6)式

O_2 (g) $+ 2H_2O + 4e^- \Leftrightarrow 4OH^-$ $K4 = 10^{27.1}$ (2.6)

の還元半反応の平衡定数 K_6 は次式で与えられます。

$K_6 = 10^{27.1} = [OH^-]^4 / [O_2(g)] [e-]^4$ (2.40)

(2.40) 式の両辺の対数(log)をとると

$\log K_6 = 27.1 = 4 \log [OH^-] - \log [O_2 (g)] - 4 \log [e-]$ (2.41)

ここで (2.23) 式

$\log [OH^-] = -14.0 + PH$ (2.23)

を用い、酸素のガス圧を 1 気圧とすると、(2.41)式は

$27.1 = 4(-14.0 + PH) - 0 + 4Pe$ (2.42)

これから

$Pe = 20.78 - PH$ (2.43)

(2.43)式は (2.34) 式と等しいことが分かります. この関係を図 2.7 に直線(5)で示します。図 2.4 と 2.6 に示されている、酸化された水の境界線(4)(5)(7)は同一の直線で表されることが分かります.

2－7　金属のイオン化傾向

ここで酸化還元電位(E_H)と、これを測定するために用いる電極電位について理解するため、その基礎として金属のイオン化傾向について述べておきます.

2 種類の異なる金属を接触させると、両金属間に電気が発生します。これは接触電気と呼ばれる現象です．この電気の強さは、接触させる金属の種類によって異なり、それぞれの金属を構成する原子の電子構造によって決まります．金属を構成する原子の内部から電子を取り出しやすい金属と、電子を取り出し難い金属を接触させた場合、取り出しやすい方の金属から電子が出て、取り出し難い方の金属に電子が移ります。電子はマイナスの電気をもっていますから、電子を失った方の金属はプラスの電位になり、電子を受け取った方の金属はマイナスの電位になります・こうして両金属間に電位差が発生し、これが接触電位差になります。しかし両金属は接触して同電位になっているはずですから、厳密には両金属のすぐ外側の空間の点と点の間に、電位差が発生していることになります．

！金属と溶液の接触の場合にも、同じような現象が起こっていると考えられます．一般に水の中に金属を浸すと、その金属から原子が溶けだして陽イオンとなります。これは水の分子が、金属から原子を引っ張り出すからです。水にはこのように、ものを溶かす性質があります。これは 2 個の水素原子が酸素原子と結合するとき、H-O-H のように直線状に結合するのではなく、∠HOH の角度が 104.5 度になっているため、電気の分布に偏りができて、電気双極子をつくっているからです．その能力を双極子モーメ・ント又はダイポール・モーメントと呼んでいます．

さて、水中に溶け出す陽イオンの出来やすさは、金属によって違いがあり、この傾向をイオン化傾向と呼んでいます。イオン化傾向の大きさの順に金属を並べたものを、イオン化列といいます．イオン化列を、それぞれの原子番号とともに表 2-1 に示します．　　，

表 2－1 ｲｵﾝ化列(ｶｯｺ内は原子番号)

大	Li	K	Ca	Na	Mg	Al	Zn	Cr	Fe
	3	19	20	11	12	30	24	26	28
	ﾘﾁｳﾑ	ｶﾘｳﾑ	ｶﾙｼｳﾑ	ﾅﾄﾘｳﾑ	ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ	ｱﾙﾐﾆｳﾑ	亜鉛	ｸﾛﾑ	鉄
Ni	Sn	Pd	H	Cu	Hg	Ag	Pt	Au	
28	50	82	1	29	80	47	78	79	小
ﾆｯｹﾙ	錫	ﾊﾟﾗｼﾞｳﾑ	水素	銅	水銀	銀	白金	金	

！

！表 2－1 中の水素（H）は金属ではありませんが、後で述べるように電極の基準に用いるため、表に加えてあります．これを見ると、例外はありますが、イオン化傾向の大きいものは総じて軽い元素であり、イオン化傾向の小さいものは重たい元素であることが分かります．イオン化列の覚え方を表 2-2 に示しておきます．

表 2-2 イオン化列の覚え方

K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Sn Pb （H） Cu Hg Ag Pt Au
かそうかな、まあ　あてにすなひどすぎるはっきん(借金)
”貸そうかな、まあ当てにすな、ひど過ぎる白金〈借金〉”

2 種類の異なる金属 A、B を同一の水溶液に浸した場合、表 2－1 のｲｵﾝ化列の上位の金属 A からは、下位の金属 B からよりも多くのｲｵﾝが溶け出します．ｲｵﾝは陽ｲｵﾝでプラスの電気をもっていますから、このとき電極 A の方が電極 B よりもマイナスに帯電することになります．このため両電極の電位は、

$E_A < E_B$　　(2.44)

の関係になります．溶液の外部で A と B を導線でつなぐと電子が A から B へ流れます．電子はマイナスの電気をもっていますから、電流はこの逆の方向、すなわち B から A の方へ流れることになります。この現象を応用して電流を取り出すものが電池です．

2－8　標準電極電位

金属と接触する溶液の電気的な性質を定量的に決めるために、温度 25℃、1 気圧のとき、金属に接する溶液として、濃度 1 モル/キログラムの金属イオンを含む溶液に浸した電極の電位を、標準電極電位［E^0］と定義します.

いま任意の金属 M の標準電極電位 E_M^0 を測定するための基準として、標準水素電極というものを用います. 標準水素電極電位を E_H^0 とし、測定された電位差を E^0 とすると

$$E^0 = E_M^0 - E_H^0 \qquad (2.45)$$

の関係があります. ここで標準水素電極というのは、一気圧の水素ガスを含む水溶液中に浸した白金電極のことをいいます. これは白金を見掛け上の電極として、溶液中の水素イオン（H^+）と水素ガス（H_2）が釣り合っている状態を表しています. これを（Pt | H^+ | H_2）で表します. 白金を見掛け上の電極に用いるのは、表 2－1 に示したイオン化列を見て分かるように、白金のイオン化傾向が小さくて溶媒中で反応しにくいため、水素電極の代わりの電極の役目を果たすからです.

この場合の電極反応は(2.2)式

$$\underset{\text{還元反応}}{2H^+ + 2e^-} \Leftrightarrow \underset{\text{酸化反応}}{H_2(g)} \qquad K_2 = 10^{0.0} \quad (2.2)$$

で与えられます. ここで標準水素電極電位

$$E_H^0 = 0 \qquad (2.46)$$

と定義します. そうすると(2.45)式は

$$E^0 = E_M^0 \qquad (2.47)$$

となり、測定した電位差 E^0 が、この金属の標準電極電位に相当することになります. 水素電極を基準にして測定したので、以後この E^0 のことを E_H^0 と書くことにします. (2.45)(2.46)式の E_H^0 とは違った定義になりますので注意してください.

現実の問題として、標準電極電位を計る塲合に標準水素電極を用いるのには、水素が金属でないため、水素を一気圧(気泡が出ている状態)に保つのに装置上の困難がありますから、銀-塩化銀電極(Cl^- | AgCl | Ag)か、ｶﾛﾒﾙ電極（Pt | Cl- | Hg_2C1_2 | Hg）を用いることが多いのです. 銀ー塩化銀電極の反応式は

$$\underset{\text{還元反応}}{AgCl + e^-} \Leftrightarrow \underset{\text{酸化反応}}{Ag + Cl^-} \qquad (2.48)$$

標準水素電極電位を基準とした場合の、銀-塩化銀電極の標準電極電位の値は＋0.225 ボルトになります.

またカロメル電極の反応式は

$$\underset{\text{還元反応}}{Hg_2Cl_2(s) + 2e^-} \Leftrightarrow \underset{\text{酸化反応}}{2Hg(aq) + 2C1^-} \qquad (2.49)$$

ここで（s）は固体（solid）の省略、(aq) は水溶液(aqua)を省略したものです. この場合のカロメル電極の標準電極電位は＋0.268 ボルトになります. カロメル電極は水銀を使っているので、環境問題の視点から最近はあまり使われなくなっています。

2－9　酸化還元電位

標準状態の溶液とは、溶媒 1 キログラム当たり溶質 1 モルが溶けている、温度 25℃の溶液のことを言います. したがって任意の温度、任意の濃度の溶液中に入れた電極の電極電位 EH は、標準電極電位 E_H^0 とは異なる値をとります。そのため、溶液の濃度と温度の補正項を加えて、次のネルンスト式で表され

ます.

$E_H = E_H^0 - (RT/nF) \ln Q$ (2.50)

ここで R は気体定数で

$R = 8.3145$ ｼﾞｭｰﾙ$^{-1}$ モル$^{-1}$ (2.51)

T は絶対温度で、単位はケルビンです. 25℃では

$T = 273.15 + 25 = 298.15$ K (2.52)

となります. n は反応に関与する電子数です. F はﾌｧﾗﾃﾞｨの定数で、1 モルの物質が電極で反応するのに要する電荷量を表し、

$F = 96485$ ｸﾛｰﾝ･ﾓﾙ$^{-1}$ (2.53)

で与えられます. クーロンは電荷の単位です. (2.50) 式の Q は

$Q = (C)^c (D)^D / (A)^a (B)^b$ (2.54)

で与えられます. Q については 2-11(水のイオン積)で説明します.

(2.50) 式の e を底とする自然対数(In)は、次式を用いて 10 を底とする常用対数(log)に変換することができます. すなわち

$\ln Q = 2.3 \log Q$ (2.55)

この対数変換式を (2.50) 式に代入すると、電極電位は

$E_H = E_H^0 - 2.3 (RT/nF) \log Q$ (2.56)

となります. (2.56) 式に R (2.51) と F (2.53) の値を代入すると

$E_H = E_H^0 - 1.982 \times 10^{-4} (T/n) \log Q$ (2.57)

となります. ここで、溶液の温度が 25℃の場合に (2.57) 式は

$E_H = E_H^0 - 0.059 (1/n) \log Q$ (2.58)

となります.

(2.58) 式で与えられる電位(E_H)は、25℃溶液の酸化還元電位又はレドックス・ポテンシャルと呼ばれます. その溶液が酸性溶液である場合は酸化電位、アルカリ性溶液である場合は還元電位と呼ぶこともできます. 酸に対して安定かどうか、また一般に酸化還元反応が起こるかどうかは、関係している化学種の酸化還元電位の値によって決まります. 酸化還元電位が高いほど酸化力がつよく、従って自身は還元されやすい. また酸化還元電位が低いほど還元力が強く、逆に自身は酸化されやすいということになります.

この章のはじあから酸化還元反応について述べてきましたが、酸化還元反応が起こる(プラス電極で酸化作用、マイナス電極で還元作用が起こる)水溶液中に発生する電位を、酸化還元電位と呼んでいます. 酸化還元電位は水素電極という標準の電極を基準にして測ることにし、標準水素電極の電位を 0 にとっています.

2－10　水の酸化還元電位

一般に水溶液は、溶媒である水に、溶質である何らかの物質が均一に溶けている溶液のことをいいます. 特別に何も入れない普通の水でも、水(H_2O)のごく一部分が解けて H^+、OH^-、 H_2、O_2 などが存在しています. これらの物質は元の水(H_2O)とは別の原子・分子ですから、水はそのまま水溶液になり、これらの原子・分子が溶質に当たると考えることができます. このように異なる物質が水の中に溶けていると、それらの濃度に応じて異なった電位が発生します.

この現象は、一般的に元素の原子核を構成する電子の回転軌道のうち、最外殻に存在する電子の状態によって起こります. この電子軌道に、定点数だけの電子が存在すれば、その原子または分子は安定に存在できますが) 電子の数が 1 個、2 個と定員数より不足していれば、それぞれ不安定な状態になり、

このような原子・分子が互いに接触することで、一方から他方へ電子が移り、電位差が発生すると考えることができます.

水の電気分解をどんどん続けて行くと、H_2O 中における H^+、OH^-、 H_2、O_2 の割合がどんどん変わって行きます.
このときこれらの各要素の密度の割合に応じて、電位が変化して行きます. この電位が水の酸化遭元電位になります.
図 2.8 は、図 2.5 に示した水の還元線(3)と、図 2.7 に示した水の酸化緑川をまとめて示したものです.
水素イオン濃度を表す PH を横軸にとり、酸化のいろいろの状態における水の Pe(電子活動度)を左の縦軸に、酸化還元電位(E_H)を右の縦軸にとった場合の、理論的な水の存在範囲を示しています. 水を電気分解すると、PH と pe の違った、いろいろの水をつくることができます. これらの水は、図 2.8 の H_2(g)と O_2(g)にはさまれた領域内の任意の点に存在します. グラフには電子活動度 (P e) に対応する酸化還元電位(E_H)を示してありますが、このことについてはあと(2-13)で詳しく述べます。

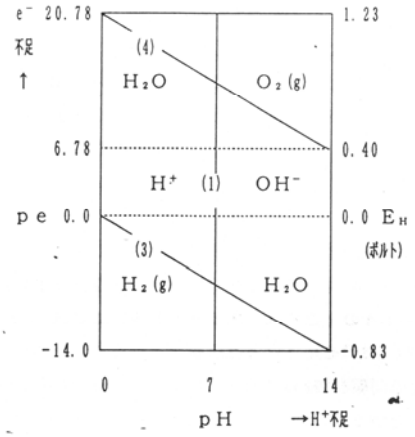


図 2.8 水の還元線(3)と酸化線(4)
Pe. PH. E_H の関係

2-11 水のｲｵﾝ積

QH は、水素イオン(H^+)濃度の常用対数(log)をとって、マイナスをつけたもので与えられます. 平衡状態で PH＝7 の場合は

$$[H^+] \quad = \quad [OH^-] = 10^{-7} \ M \qquad (2.59)$$

（水素ｲｵﾝ濃度）（水酸化物ｲｵﾝ濃度）

となります. PH の P は、英語で 10 の何乗かを表す power(～乗)の P をとったものです。また [ ] はモル濃度 M を表します. 1M というのは原子質量数にグラムをつけただけの量が、水 1 リットル中に存在する場合の濃度を指しています.
H^+の場合、この値は 1 グラムですから、水 1 リットル中に 1 グラム存在するとき、1M の濃度になります.
OH^-の場合は 17(＝16＋1)グラムに相当しますので、水 1 リットル中に OH^-イオンが 17 グラムあるときが 1M の濃度に相当します.

図 2.8 の PH＝0 のところは、H^+の濃度が水 1 リットル中に 1 モル、OH^-が 10^{-14} モルだけある状態を表します. また逆に PH＝14 のところは、水 1 リットル中に OH^-が 1 モル、H^+が 10^{-14} モルだけある状態を表します. H^+と OH^-の濃度の関係を表 2-3 に示します.

表 2-3 H+と OH-の水中濃度(ﾓﾙ/ﾘｯﾄﾙ)と PH の関係

PH	0	1	2	3	4	5	6	7
$[H^+]$	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
$[OH^-]$	10^{-14}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}
PH	8	9	10	11	12	13	14	
$[H^+]$	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	
$[OH^-]$	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	

表 2−3 から分かるように

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14} \qquad (2.60)$$

になっており、この値を水のｲｵﾝ積と呼んで、Kw で表します. すなわち PH がどんな値のときでも H^+の濃度と OH^-の濃度の積が水のイオン積

$Kw=10^{-14}$ (2.61)

になります．それでは水のイオン積はどのようにして得られるのでしょうか．以下にそのことを調べてみます．

一般に物質を構成する元素が化合・分解するときのエネルギーの関係は、次の熱力学的な表現式で与えられます．

$G=H-TS$ (2.62)

(2.62) 式で、G はギプスの自由エネルギー、または単に自由エネルギーと呼ばれます．T は絶対温度(K)、S はエントロピー、H はエンタルピーです．エンタルピーH は元素または化合物のエネルギーを表します．エントロピーS はシステムの無秩序性を示す指標です．例えば結晶構造のように組織化されているものは低エントロピー、気体のように各分子が勝手に運動しているような乱雑なものは、高エントロピーの状態にあります．エントロピーは常に高くなって行くさ傾向にあります．万物は常に組織化されたものから乱雑なものへ変化しています．乱雑化のエネルギーは温度 T とともに増大し、TS の積は利用できないエネルギーを表します．したがって自由エネルギー(G)は、全エネルギーから利用できないエネルギーを引き去った、残りの利用可能なエネルギーを表すことになります．

水を構成する元素の原子・分子に関するエンタルピーの変化$\triangle H_1^0$と、自由エネルギーの変化$\triangle G_1^0$を 1 モル当たりのキロカロリーを単位として表 2-4 に示します。!

表 2-4　水のｴﾈﾙｷﾞｰ

成分	標準状態	$\triangle H_1^0$(kcal/ﾓﾙ)	$\triangle G_1^0$(kcal/ﾓﾙ)
H^+(aq)	1 ﾓﾙ	0	0
H_2(g)	1 気圧	0	0
O_2(aq)	1 ﾓﾙ	-3.9	3.93
O_2(g)	1 気圧	0	0
OH^-(aq)	1 ﾓﾙ	-55.0	-37.6
H_2O(g)	1 気圧	-57.8	-54.6
H_2O(1)	1 ﾓﾙ分率	-68.3	-56.7

今、一般に化学反応

$Aa+Bb=Cc+Dd$ (2.63)

が成り立つとき、このｼｽﾃﾑの全エネルギーをG_γとすると

$G_\gamma=n_AG_A+n_BG_B+n_cG_c+n_DG_D$ (2.64)

で与えられます。ここで n_A、n_B、n_C、n_D はそれぞれ成分 A、B、C、D の濃度で、モル数で表されます．G_A、G_B、G_C、G_D はそれぞれの物質の 1 モル当たりの自由エネルギーを表します。(2.63) 式が可逆反応の場合、反応は右へも左へも進むことができますから、この状態を図で表すと図 2.9 のようになります。!! 自然に起こる反応はすべて全自由エネルギーGT が減少する方向に起こり、増加する方向に起こることはありません．反応曲線が極小になるところが平衡状態となります．この反応の進行に伴って、反応にあずかる各成分の濃度が、時間とともにどのように変化するのかを示したものが、図 2－10 になります．

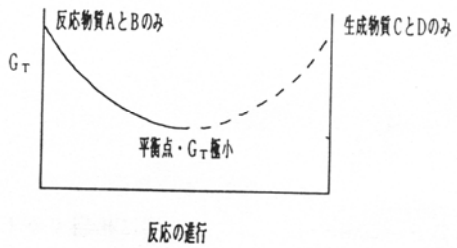


図 2.9 化学反応 aA+bB＝cC+dD に伴う自由ｴﾈﾙｷﾞｰの変化!

図 2.10(a)の左端では A と B だけが存在し、時間とともに C とさ D が生成され、図の右端に近付くにつれて変化が少なくなり、右端で平衡状態に達しています・軸＝ま C･D から A･B が生成される様子を示しています．

さて任意の化学反応で、自由エネルギーGT に生じる変化△G は次式で与えられます．

$\triangle G=\Sigma\triangle G_i=(\Sigma n_ig_i)$ 生成物質－(Σn_ig_i) 反応物質 (2.65)

ここで n_i は(2.63)式の a、b、c、d に相当するモル数、g_i は各成分の 1 モル当たりの自由エネルギーです。標準状態すなわち 1 気圧、25℃における自由エネルギーの変化が表 2-4 に示した$\triangle G^0$で表され

$\triangle G^0=\Sigma\triangle G_1^0=(\Sigma n_ig_i^0)$生成物質－$(\Sigma n_ig_1^0)$ 反応物質 (2.66)

で与えられます．(2.63)式の反応については

$\triangle G^0 = \triangle Gc^0 + \triangle G_D^0 - \triangle G_A^0 - \triangle G_B^0$ (2.67)

となります.

さてここで H_2O が H^+ と OH^- に解離する反応

解離

$H_2O \quad \Leftrightarrow \quad H^+ + OH^-$ (2.1)

再結合

について平衡定数を求めてみましょう。

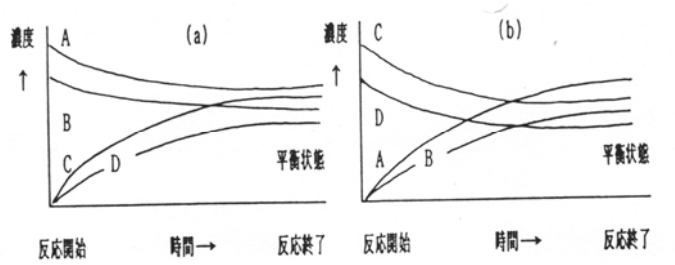


図 2.10 A.B.C.D の濃度変化 (a)A.B から C.D を生成 (b)C.D から A.B を生成

(2.1)式に(2.67)式を当てはめると、(2.1)式の各成分の自由エネルギーの変化$\triangle G_1^0$は、表 2－4 から H_2O(1)については－56.7 ｷﾛｶﾛﾘｰ/ﾓﾙ、H^+(aq)については 0、OH^-(aq)については-37.6 ｷﾛｶﾛﾘｰ/ﾓﾙであることが分かります. これから

$\triangle G^0 = (1) \times (0) + (1) \times (-37.6) - (1) \times (-56.7) = +19.1$ ｷﾛｶﾛﾘｰ (2.68)

となります。すなわち 1 モルの水(H_2O)が解離して、1 モルの水素イオン(H^+)と 1 モルの水酸化物イオン(OH^-)を生じて平衡に達するまでに、＋19.1 ｷﾛｶﾛﾘｰの自由エネルギーの変化があることが分かります.

自由エネルギーの変化は、(2.67)式から分かるように、生成物質の全自由エネルギーの変化から、反応物質の全自由エネルギーの変化を差し引いたもので与えられます. したがっては(2.68)式においてこの値の符号が正であるということは、生成物質の全自由エネルギー変化が、反応物質の全自由エネルギー変化より大きいことを表しています. このことから(2.1)式の反応は、エネルギー変化量の大きい右の方からエネルギー変化量の小さい左の方へ、自然に移って行くことが分かります・すなわち解離した水素イオン(H^+)と水酸化物イオン(OH^-)は、標準状態では再び結合して水(H_2O)に戻ろうとします。

このように全自由エネルギーの変化の符号が正であるか負であるかを見れば、反応がどちら向きに進むのかが分かります. すなわち

(1) $\triangle G < 0$ のときは、全自由エネルギーGT は減少しており、反応は右方向へ進む.

(2) $\triangle G > 0$ のときは、全自由エネルギーGT は増加しており、この事はあり得ないことですから、逆に反応は左方向へ進む.

(3) $\triangle G = 0$ のときは、全自由エネルギーGT は最小の状態にあり、反応は平衡状態になっている。この場合は、反応はどちら向きにも進むことはできません。

上の計算は、水溶液中の各成分の濃度が 1 モルで、大気圧が 1 気圧、温度が 25℃の標準状態について行いましたが、標準状態でない、一般の任意の場合の自由エネルギーの変化

△G は

$\triangle G = \triangle G^0 + RT \cdot \ln Q$ (2.69)

で与えられます. ここで Q は反応商と呼ばれ、(2.63)式の反応について

$Q = [C]^c \ [D]^d / \ [A]^a \ [B]^b$ (2.70)

で与えられます. ここで [ ] は溶液の有効濃度(活量)を表す量ですが、無限希釈溶液の場合には、濃度を 1 キログラム中のモル数で表す場合のカギカッコ [ ] を用いて

$Q = [C]^c \ [D]^d / \ [A]^a \ [B]^b$ (2.71)

で近似することができます。また気体の場合には分圧で表されます.

平衡状態においては、(2.69)式で△G＝0、Q＝K 平衡定数)になりますから

$\triangle G^0 = -RT \cdot \ln K$ (2.72)

となります. したがって 25℃の水については、(2.68)式の△G0 の値を使って

$\ln K = -19.1/RT = -32.24$ (2.73)

この計算には

$R=1.9872\times10^{-3}$ ｷﾛｶﾛﾘｰ/K･ﾓﾙ　　(2.74)

T＝(273.15＋25)K

を用いています．(2.74) 式は(2.51)式の単位ジュールをキロカロリーに変換したものです．(2.73)式から、(2.1)式の平衡定数 K は

$K=9.96\times10^{-15}$　　(2.75)

これは近似的に

$K=1\times10^{-14}$　　(2.76)

となり、この K が水のイオン積 Kw は(2.61)に相当します．このようにして、水のイオン積が近似的に 10^{-14} で与えられることが分かります．

2－12　電解水の酸化還元電位

水の性質が Pe と PH の閑数関係で表されることを述べ、図 2.8 に水がとり得る理論的な範囲を示しました．2 本の右下がりの直線にはさまれた領域が、任意の水の Pe と PH の値がくるところです。水の範囲のうち上の方ほど水が酸化された状態を示し、下の方ほど還元された状態を示します。したがって水(H_2O)と水素分子(H_2)との境界を示す、下の右下がりの直線(3)のすぐ上にある水が還元された水を示します．また酸素分子(O_2)との境界を示す、上の右下がりの直線(4)のすぐ下の水が酸化された水を示します。水と水素が釣り合うところを水の還元線と呼び、水と酸素が釣り合うところを水の酸化線と呼ぶことができます。この場合の酸素(O_2)は 1 気圧ですが、電気分解を停止した後では、大気中にある酸素と反応することになり、そのときの酸素の分圧は 0.21 気圧になります．

水の電気分解によって得られる還元水は、時間が経つにつれて、容器中の水に接している空気中の酸素(0.21 気圧)と反応して酸化され、Pe の植が上昇します。これに伴って酸化還元電位(E_H)の値もマイナスからプラスの方へ上がって行きます．図 2.8 から分かるように、水は非常に広い範囲にわたって変化する性質をもっているのです。一見同じように見える水でも、どれひとつとして同じ水は存在しないのです．

電極で発生する水素ガス・酸素ガスは、ﾌｧﾗﾃﾞｰの法則に従って、溶液中を流れる電荷量(電流×時間)に比例して発生します．普通の水道水では、含まれている微量成分の量によって電流の流れ方に違いがあり、同じ電圧をかけても、同じだけの電流が流れるとは限りません。電流の流れやすさを電気伝導度という値で表すことができます・電気伝導度は水の中に含まれる微量成分(溶質)の種類とその量によって変わり、抵抗率の逆数で与えられます。一般に、微量成分を多く含む水は電気伝導度が高く、電流がたくさん流れますが、微量成分をあまり含まない、きれいな水は電気伝導度が低くて電流があまり流れません．

このようなことから、普通の水道水を用いて電気分解をする場合、生成する酸性電解水とアルカリ電解水の Pe（E_H）と PH の範囲には、ある制限があります．酸性電解水の場合 PH＝4.0、Pe＝13.5（E_H＝＋0.8 ボルト)、アルカリ電解水の場合 PH＝10.0、Pe＝－7.5(E_H＝－0.45 ボルト)程度になります．

これ以上 PH の低い強酸性電解水と、PH の高い強アルカリ電解水を作ろうと思えば、水道水に食塩(塩化ﾅﾄﾘｳﾑ NaCl)、又は塩化ｶﾘｳﾑ(KCl)など、水の電気伝導度を増加させる電解物質を添加しなけわばなりません．このようにして水を電気分解すると、H_2 ガス、O_2 ガスの発生量が増え、その分 PH の値が上下に拡がり、酸性側で約 PH2.5、アルカリ側で約 PHll.5 程度の値を得ることができます。また Pe の値も酸性側で Pe22.7、アルカリ側で Pe－11.4 程度となります。これに伴う酸化還元電位(E_H)は、酸性側で＋1.35 ボルト、アルカリ側で－0.68 ボルト程度になることが、実際に測定したデータから分かります．

2-13　電子活動度(Pe)と酸化還元電位（E_H）の関係

電気分解した水の性質を決めるものはPeとPHであることを述べてきましたが、Peを直接測定する方法はまだ開発されていません．しかしPeは以下に述べるように、酸化還元電位E_Hと比例関係にあることが分かはすから、E_Hを測定してPeを求めることができます・

一般に酸化還元反応を

還元反応

$OX + ne^- \Leftrightarrow RED$ (2.77)

酸化反応

のように表したとき、平衡定数Kは

$K = [RED] / [OX] [e-]^n$ (2.78)

で与えられます．ここでREDは還元性物質、OXは酸性物質を表しています．(2.78)式の両辺の対数(log)をとると

$\log K = \log \{[RED] / [OX]\} - n \log [e-]$ (2.79)

となります．ここで電子活動度Peの式

$Pe = -\log(e-)$ (2.17)

を用いるとは(2.79)式から

$Pe = (1/n)\log K - (1/n)\log \{[RED] / [OX]\}$ (2.80)

が得られます．ここで特別な場合として、[RED] と [OX] が1Mの標準状態であるときを考えると

$[RED] = [OX] = 1M$ (2.81)

となり、(2.80)式は

$Pe^0 = (1/n) \log K$ (2.82)

となります．(2.82)式を(2.80)式に代入すると

$Pe = Pe^0 - (1/n)\log \{[RED] / [OX]\}$ (2.83)

となります．ここで(2.83)式の両辺に(2.3RT/F)を掛けると

$(2.3RT/F)Pe = (2.3RT/F)\ Pe^0 - (2.3RT/F)\ (1/n)\ \log \{[RED] / [OX]\}$ (2.84)

となります．これを(2.56)式で求めた酸化還元電位の式

$E_H = E_H^0 - 2.3(RT/nF)\log Q$ (2.56)

と比較するとき

$Q = [RED] / [OX]$

と置くことができるので

$(2.3RT/F)Pe = E_H$ (2.85)

$(2.3RT/F)Pe^0 = E_H^0$ (2.86)

と置いてもよいことが分かります．(2.85)(2.86)式から電子活動度Peと酸化還元電位E_Hは、線形比例関係にあることが分かります．

温度が標準の25℃の場合には、(2.85)(2.86)式にそれぞれR、T、Fの値を代入して

$E_H = 0.05917Pe$ (2.87)

$E_H^0 = 0.05917Pe^0$ (2.88)

又は

$Pe = 16.9E_H$ (2.89)

$Pe^0 = 16.9E_H^0$ (2.90)

を得ることができます．これらを用いて、PeとE_Hを相互に変換することができます．

現在のところPeを直接測定するよい方法が無いので酸化還元電位E_Hを測定し、(2.89)式を用いてPeに変換する方法をとっています．P eの値が大きい酸性電解水は電子が不足している水で、酸化還元電位

が高く、酸化作用の強い水となっています. またＰｅの値が小さいアルカリ電解水は電子の豊富な水で、酸化還元電位の低い水になっています. この水は還元作用の強い水となります.

図 2.8 から分かるように、水の PH の値が 0 から 14 まで変化する間に、水の Pe は＋20.78 から-14.0 まで 35 桁も変化します. すなわち電気分解した水には、電子の活動度が 10^{35} 倍も違う水が存在することになります. これに対応して、E_H は 1.23 ボルトから-0.83 ボルトまで変化します。

3　強電解水とはどういう水か

3－1　強電解水の生成

前章で述べたように、普通の水道水を電気分解すると、酸性側で PH4、アルカリ側で PH10 程度の電解水が生成されます. この電解水を生成する装置は、『家庭用医療用物質生成器』という分類で厚生省の認可を受けており、生成されるアルカリ性の電解水は胃酸過多等の治療に使うことができます. また酸性電解水はアストリンゼントとして、洗顔などに使うことができます.

PH の値が 4 より小さい強酸性電解水と、PH10 より大きい強アルカリ電解水を生成するのには、普通の水道水を用いるだけでは不可能です. これらの強電解水は、水の中を流れる電荷量(電流と時間の積)に比例して生成されますが、普通の水道水では十分な電流を流すことができません. そこで電流を強くするために、水の電気伝導度を大きくする必要があります. このため水道水に通常食塩(塩化ﾅﾄﾘｳﾑ)を、農業用に使用する場合には塩化カリウムを添加します. A 社(高知市)の強電解水生成装置の例では、水 2 トンに対して食塩 1.5 キログラム(水 2 リットルに対して食塩 1.5 グラムに相当)を加えますここのような食塩水を電気分解するとｱﾉｰﾄﾞ(ﾌﾟﾗｽ電極)側に PH 約 2.5 の強酸性電解水･･･ｶｿｰﾄﾞ(ﾏｲﾅｽ電極)側に PH 約 11.5 の強アルカリ電解水を作ることができます.

水に塩化ナトリウム(NaCl)を入れて電気分解した場合は、入れないで電気分解した場合に比べてどのように違ってくるのでしょう. このことについて考えます. この場合関与する基本的な化学反応式は、以下のようになります.

解離

$H_2O \Leftrightarrow H^+ + OH^-$　　$K_1=10^{-14}$　　(3.1)

(水)　再結合　(水素ｲｵﾝ)　(水酸化物ｲｵﾝ)

解離

$NaCl \Leftrightarrow Na^+ + Cl^-$　　(3.2)

(塩化ﾅﾄﾘｳﾑ)　再結合　(ﾅﾄﾘｳﾑｲｵﾝ)　(塩素ｲｵﾝ)

解離

$HCl \Leftrightarrow H^+ + Cl^-$　　$K_3=10^{3}$　　(3.3)

(塩酸)　再結合　(水素ｲｵﾝ)　(塩素ｲｵﾝ)

還元反応

$(1/2)Cl_2 + e^- \Leftrightarrow Cl^-$　　$K_4=10^{23.6}$　　(3.4)

(塩素分子)　(電子)　酸化反応　(塩素ｲｵﾝ)

還元反応

$HOCl + H^+ + e^- \Leftrightarrow (1/2)Cl_2 + H_2O$　　$K_5=10^{26.9}$　　(3.5)

(次亜塩素)　(水素ｲｵﾝ)　(電子)　酸化反応　(塩素分子)　(水)

解離

$HOCl \Leftrightarrow H^+ + OCl^-$　　$K_6=10^{-7.3}$　　(3.6)

(次亜塩素)　再結合(水素ｲｵﾝ)　(次亜塩素酸ｲｵﾝ)

解離

$NaOH \Leftrightarrow Na^{+} + OH^{-}$ (3.7)

(水酸化ナトリウム)　再結合(ナトリウムイオン)(水酸化物イオン)

(3.1)、(3.3)～(3.6)式のあとに書かれている K_1、K_3～K_6 はそれぞれの還元反応式の平衡定数を表します.

一般に A と B が反応して、C と D が生成される場合の化学反応式は(2.63)式のように

$aA+bB=cC+dD$ (3.8)

で与えられます. a、b、C、d はそれぞれ反応物質 A、B と、生成物質 C、D の係数で、モル数を表します. 反応が平衡に達したとき、平衡定数は

$K=[C]^{c}[D]^{d}/[A]^{a}[B]^{b}$ (3.9)

で与えられます. ここで [　] は活量濃度と呼ばれる量です.

これは水溶液の濃度がある程度濃い場合に、溶質の各成分が互いに干渉し合って、濃度に比例する活動ができないため、モル濃度に活量係数というものを掛けた活量濃度というものを用いるのです. しかし水溶液の濃度が薄くて、無限希釈状態と考えられるときには、活量係数が 1 に近付き、それぞれの成分のモル濃度 [　] で近似することができます. この場合は

$K=[C]^{c}[D]^{d}/[A]^{a}[B]^{b}$ (3.10)

となります.

ここで述べる電気分解に用いる食塩水は、添加する食塩の量が少ないので、すべて無限希釈の状態にあると考えられます。

したがってこの場合は、溶媒である水(H_2O)ついては濃度を考慮する必要がありません.

またモル濃度のモルというのは、原子量または分子量をグラムで表したもので、水 1 リットル中にどれだけのモル数が含まれるかを、ﾓﾙ/ﾘｯﾄﾙという単位を用いて M で表します. 濃度はﾓﾙ/ｷﾛｸﾞﾗﾑで表すこともでき、これを重量モル濃度と呼んで m で表されます. 水めモル濃度 M と重量モル濃度 m は、温度が 4℃のとき最も近い値になり、このとき水の密度は 0.99997 ｷﾛｸﾞﾗﾑ/ﾘｯﾄﾙとなります。

さて食塩水を電気分解すると、その水溶液中には、(3.1)式より水素イオン(H^{+})と水酸化物イオン(OH^{-})、(3.2)式より塩化ナトリウム(NaCl)、ナトリウムイオン(Na^{+})と塩素イオン(Cl^{-})、(3.3)式より塩酸(HCl)、(3.4)式より塩素分子(Cl_2)、(3.5)式より次亜塩素酸(HOCl)、(3.6)式より次亜塩素酸イオン(OCl^{-})、(3.7)式より水酸化ナトリウム(か性ソーダ NaOH)が存在することが分かります. これらの式の中に出てくる電子(e-)は、水溶液中に遊離して存在しているのではありませんが、電極やそれぞれの成分から他の成分に移ることで、. 反応に関与するのです.

3－2　強電解水中の塩素の分布

強電解水中に塩素の各成分がどのような割合で存在するのかを、水素イオン(H^{+})濃度を表す PH と、電子(e-)の活動度を表す Pe をパラメーターとして調べることにします. 前章で定義したように、PH と Pe は次式で与えられます.

$PH=-\log[H^{+}]$ (3.11)

$Pe=-\log[e^{-}]$ (3.12)

まず最初に、電解食塩水溶液中の、各塩素成分の酸化状態について考えます.

(1) (3.3)式

$HCl = H^{+} + Cl^{-}$ (3.3)

では、電子の関与する酸化還元作用は行なわれず、水素イオン(H^{+})と塩素イオン(Cl^{-})が反応して塩酸(HCl)になることから、HCl と Cl^{-}の酸化状態は同じレベルにあることが分かります.

(2) (3.4)式

$(1/2)Cl_2 + e^- = Cl^-$ (3.4)

より、塩素イオン(Cl^-)が酸化されて、電子を放出して塩素分子(Cl_2)なることから、Cl^-の酸化状態がCl_2より低いことが分かります.

(3) (3.5)式

$HOCl + H^+ + e^- = (1/2)Cl_2 + H_2O$ (3.5)

より、塩素(Cl_2)が酸化されて次亜塩素酸(HOCl)になることから、HOCl の酸化状態がCl_2より高いことが分かります.

(4) (3.6)式

$HOCl = H^+ + OCl^-$ (3.6)

では、次亜塩素酸(HOCl)が解離して、水素イオン(H^+)と次亜塩素酸イオン(OCl^-)になることから、HOCl とOCl^-の酸化状態は等レベルにあることが分かります.

以上の(1)～(4)の関係を図で表すと、食塩水を電気分解してできる塩素の各成分の酸化の状態が、図 3.1 に示すような関係になっていることが分かります. この図の各溶質成分間の濃度の関係について検討し、図に示した(9)～(15)の等モル濃度境界線がどのようにして決まるのかを調べます.

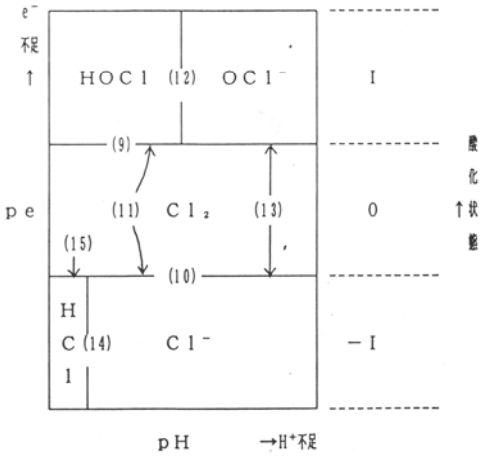


図 3.1 電解食塩水の塩素の酸化状態

(1) HOCl と Cl2 の関係

まず第 1 番目に、HOCl とCl_2の関係について考えます.

(3.5)式

$HCl + H^+ + e^- = (1/2)Cl_2 + H_2O$

$K_5 = 10^{26.9}$ (3.5)

より平衡定数K_5は

$K_5 = 10^{26.9} = [Cl_2]^{1/2} / [HOCl][H^+][e^-]$ (3.13)

で与えられます. (3.13)式の両辺の対数(log)をとると

$\log K_5 = 26.9 = (1/2)\log [Cl_2] - \log [HOCl] - \log [H^+] - - \log [e^-]$ (3.14)

となります. ここで

$PH = -\log [H^+]$ (3.11)

$Pe = -\log [e^-]$ (3.12)

であることを考えると

$Pe = 26.9 - (1/2)\log [Cl_2] - \log [HOCl] - PH$ (3.15)

ここで $[Cl_2]$ と [HOCl] の濃度を見積もるためには、添加した塩化ナトリウムの量から、水溶液中に含まれる全塩素量 (Cl_γ) を知る必要があります. A 社(高知市)の連続式強電解水生成装置(AT－250)では、強電解水 2 トン(強酸性水と強アルカリ水をそれぞれ 1 トンずつ)を生成するために、食塩(塩化ナトリウム NaCl)1.5 キログラムを投入しています. これは 0.075%の食塩水に相当します.

この食塩水では、

Na の原子量＝22.99　グラム/モル

Cl の原子量＝35.45　グラム/モル

NaCl の分子相当量＝58.44　グラム/モル(3.16)

から、1.5 キログラムの NaCl は

1500(ｸﾞﾗﾑ)／58.44 (ｸﾞﾗﾑ/ﾓﾙ) ＝25.67　モル

になります. 分子相当量としたのは、NaCl が通常結晶構造をなしていて、単独分子の形では存在しない

ので、モルに相当する量という意味で使っています.

さてこれだけの NaCl が 2000 リットルの水に添加されると、1 リットル当たりでは

25.67／2000 ＝ 0.0128　モル／リットル

になります. ここで、モル濃度(モル／リットル)＝M　の記号を用いると、

$Cl_\gamma = 1.28\times10^{-2}$　M　　(3.17)

になります. 0.075%の食塩水には(3.17)式で表されるだけの全塩素量(Cl_γ)が、次式の右辺の成分に分配されて存在することになります.

$Cl_\gamma = 1.28\times10^{-2}$　M　＝　[HOCl] + [OCl^-] + 2 [Cl_2] +　[HCl] +　[Cl^-]　　(3.18)

(3.18)式の右辺の [Cl_2] に 2 がかかっているのは、Cl_2が Cl を 2 個分もっているからです.

いま HOCl と Cl_2の境界線(9)上では、両成分が等モル濃度になっていますが、その他の成分は HOCl と Cl_2に比べてずっと少ないので無視することができます. このことから

$Cl_\gamma = 1.28\times10^{-2}$　M ＝　[HOCl] + 2 [Cl_2]　　(3.19)

と近似することができます. したがって

[HOCl] ＝ (1/2)×1.28×10^{-2}M ＝ 6.4×10^{-3}M

[Cl_2] ＝ (1/4)×1.28×10^{-2}M ＝ 3.2×10^{-3}M

に成ることが判ります。これらの値を(3.15)式に代入すると

$Pe = 26.9-(1/2)\log(3.2\times10^{-3})+\log(6.4\times10^{-3})-PH$

$Pe = 26.9+1.25-2.19-PH$

$Pe = 25.95-PH$　　(3.20)

(3.20)式は直線の方程式で、PH＝0 のとき、Pe＝25.95 となり、直線の傾斜は(3.20)式の微分をとって

d(Pe)／d(PH)＝－1　　(3.21)

で与えられます. これから直線が右下がりで、45 度の傾斜をなしていることが分かります.

(2) Cl_2と Cl^-の関係

第 2 番目に、(1)と同様の方法を用いて Cl_2と Cl^-の関係について考えます. (3.4)式

$(1/2)Cl_2 + e^- = Cl^-$　　$K_4 = 10^{23.6}$　　(3.4)

かう平衡定数 K_4は

$K_4 = 10^{23.6} = [Cl^-] / [Cl_2]^{1/2} [e^-]$

$\log K_4 = 23.6 = \log [Cl^-] - (1/2)\log [Cl_2] - \log [e^-]$

$Pe = 23.6 - \log [Cl^-] + (1/2)\log [Cl_2]$　　(3.22)

Cl_2と Cl^-の境界線(10)上での濃度は

[Cl_2] ＝ 3.2×10^{-3}M

[Cl^-] ＝ 6.4×10^{-3}M

となります. これらの値を(3.22)式に代入すると

P e＝23.6＋2.19－1.25

Pe＝24.54　　(3.23)

(3.23)式には PH が含まれていませんので、P e は PH とは無関係であることが分かります. Cl_2と Cl^-の境界線(10)は、P e＝24.54 を通る水平な直線になります.

(3)HOCl と Cl^-の関係

第 3 番目に、HOCl と Cl^-はどのような閑孫になっているのかについて考えます. ここで(3.4)式と(3.5)式の足し算をします.

$(1/2)Cl_2 + e^- = Cl^-$ $K_4=10^{23.6}$ (3.4)

＋) $HOCl+H^+ + e^- = (1/2)Cl_2+H_2O$ $K_4=10^{26.9}$ (3.5)

$HOCl+H^++2e^- = Cl^- + H_2O$ $K_{24}=10^{50.5}$ (3.24)

が成り立ちます．平衡定数 K_{24} は

$K_{24}=10^{50.5}= [Cl^-] / [HOCl] [H^+] [e^-]^2$

$\log K_{24}=50.5=\log [Cl^-] -\log [HOCl] -\log [H^+] -2\log [e^-]$

$2Pe=50.5-\log [Cl^-] +\log [HOCl] -PH$ (3.25)

これから HOCl と Cl^-が等濃度になる境界線(11)では

$2Pe=50.5 - 2.19+2.19-PH$

$Pe=25.25 - (1/2)PH$ (3.26)

(3.26)式は PH＝0 のとき Pe＝25.25 となり、この点を通って右下がりの直線となります．この直線(11)の傾斜は-1/2 になりますから、45 度の半分で 22.5 度になることが分かります．

(4) HOCl と OCl^-の関係

第 4 番目に HOCl と OCl^-の関係について考えます．

(3.6)式

$HOCl = H^+ + OCl^-$ $K_6 =10^{-7.3}$ (3.6)

から

$K_6=10^{-7.3} = [H^+] [OCl^-] / [HOCl]$

$\log K_6=-7.3=\log [H^+] +\log [OCl^-] -\log [HOCl]$

$PH=7.3+\log [OCl^-] -\log [HOCl]$ (3.27)

が成立します・HOCl と OCl^-が等濃度になる境界線（12）では

$PH=7.3$ (3.28)

になり、境界線(12)は、Pe に無関係で、PH＝7.3 を通る垂直の直線になることが分かります．

(5)OCl^-と Cl^-の関係

第 5 番目に、OCl^-と Cl^-の関係について考えます．

(3.4)+(3.5)-(3.6)から

$(1/2)Cl_2 + e^- = Cl^-$ $K_4=10^{23.6}$ (3.4)

＋) $HOCl+H^+ + e^- = (1/2)Cl_2+H_2O$ $K_4=10^{26.9}$ (3.5)

－) $HOCl = H^+ + OCl^-$ $K_6 =10^{-7.3}$ (3.6)

$OCl^- + 2H^+ + 2e^- = Cl^- + H_2O$ $K29=10^{57.8}$ (3.29)

が得られます。これから

$K_{29} = 10^{57.8} = [Cl^-] / [OCl^-] [H^+]^2 [e^-]^2$

$\log K_{29}=57.8=\log [Cl^-] -\log [OCl^-] -2\log [H^+] -2\log [e^-]$

$2Pe=57.8- [Cl^-] +\log [OCl^-] -2PH$ (3.30)

が得られます．これから OCl^-と Cl^-が等濃度になる境界線(13)は

$Pe=28.9-PH$ (3.31)

で与えられることが分かります．これは PH＝0、Pe＝28.9 の点を通る傾斜－1 の直線になります．

(6) HCl と Cl^-の関係

第 6 番目に、HCl と Cl^-の関係について考えます.

(3.3)式

$HCl = H^+ + Cl^-$　　$K_3 = 10^3$　　(3.3)

を用いて

$K_3 = 10^3 = \frac{[H^+][Cl^-]}{[HCl]}$

$\log K_3 = 3 = \log [H^+] + \log [Cl^-] - \log [HCl]$　　(3.32)

HCl と Cl^-が等濃度になる境界線(14)では

$PH = -3$　　(3.33)

が得られます・これは、PH＝－3 を通る垂直の直線になります。

(7) Cl_2 と HCl の関係

最後に Cl_2 と HCl の境界線(15)について考えます.

(3.4)－(3.3)をつくると

$(1/2)Cl_2 + e^- = Cl^-$　　$K_4 = 10^{23.6}$　　(3.4)

－) $HCl = H^+ + Cl^-$　　$K_3 = 10^3$　　(3.3)

$(1/2)Cl_2 + H^+ + e^- = HCl$　　$K_{34} = 10^{20.6}$　　(3.34)

これから

$K_{34} = 10^{20.6} = \frac{[HCl]}{[Cl_2]^{1/2}[H^+]}$

$\log K_{34} = 20.6 = \log [HCl] - (1/2)\log [Cl_2] - \log [H^+] - \log [f]$　　(3.35)

$Pe = 20.6 - \log(6.4 \times 10^{-3}) + (1/2)\log(3.2 \times 10^{-3}) - PH$

$Pe = 20.6 + 2.19 - 1.25 - PH$

$Pe = 21.54 - PH$　　(3.36)

(3.36)式は、PH＝0、Pe＝21.54 の点を通る、右下がり、傾斜 45 度の直線になります。

以上得られた(3.20)(3.23)(3.26)(3.28)(3.31)(3.33)(3.36)式から、0.075%の食塩水を電気分解してつくった電解水について、Pe と PH の関係を図示すると、図 3.2 のようになります。ここには 2 章で計算した(1)～(8)の直線の位置も示してあります.

現在 Pe を直接測定する方法が開発されていませんので、酸化還元電位 E_H を測ることで、電子活動度(Pe)を求めることができます. この場合は(2.89)式

$Pe = 16.9E_H$　　(3.38)

を用います.

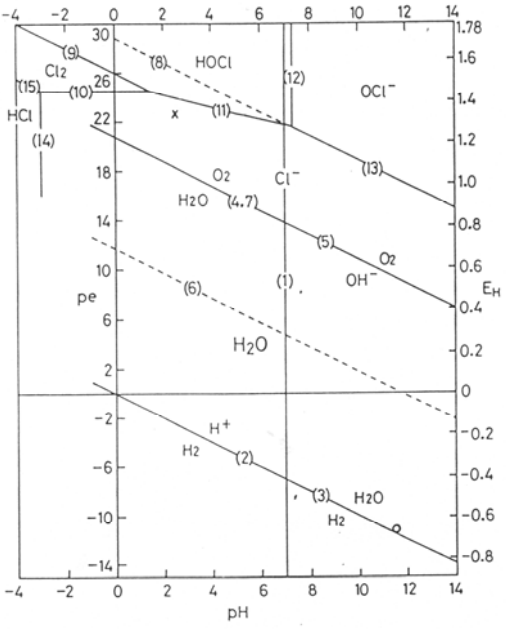


図 3.2 0.075%食塩水の Pe･PH･E_H の関係を示す

図 3.2 の右の縦軸には、前章(2.87)式

$E_H = 0.05917Pe$ ﾎﾞﾙﾄ　　(3.37)

を用いて、Pe に対する E_H の値の目盛りを付与

3－3　Pe-PH ダイァグラムの読み方

図 3.2 において、0.075%の食塩水を電気分解してつくった電解水中に、食塩から解離した塩素の成分がどのような状態になっているのかを示しました. 注目する水が、横軸 PH と縦軸 pe でつくる面の中のどの点にあるのかで、それぞれ性質の異なった水になります。水素ｲｵﾝ濃度は PH－4 から PH14 まで、電子活動度は Pe-15 から Pe30 まで目盛ってあります. PH は普通 0～14 が用

いられますが、この図では PH-4 までとりました. 実際に希薄な食塩水から PH2 以下の水をつくるのはむつかしいので、PH がマイナスになることはありませんが、食塩水の電気分解によってできる強酸性水中に、塩素（Cl_2）や塩酸(HCl)の濃度がどのような状態になっているのかを知るために、PH-4 までとってあります.

食塩水の濃度が 0.075%とは異なる場合には、この事で示した計算法に従って、それぞれの濃度に応じた Pe-PH ダイァグラムを作ればよいのです. しかし食塩水中の各成分の等モル濃度境界線の位置には、ほとんど変化がありません. 電解水生成装置の電極、水槽の構造、食塩の添加量、毎分の水量、電解時間等がそれぞれ異なっても、生成される電解水の PH と E_H を測定して、この Pe－P_H ダイアグラムのどの位置に来るのかを調べれば、その電解水がどのような性質をもっているのかが分かります.

実際に A 社(高知市)の強電解水生成器アイテックミニ AM－2 を用いて作った強酸性電解水は、PH2.5、E_H1.34 ボルト付近にあり、電子活動度は Pe23 程度になりました. この値が図 3.2 の×印で示され、塩素成分のうち塩素イオン(Cl^-)が卓越しているところに相当します. 塩素（Cl_2）は次亜塩素酸（HOCl）には殺菌作用がありますが、Cl^-には殺菌作用はありません. ×の点は、殺菌作用のある次亜塩素酸(HOCl)と塩素(Cl_2)との境界線から目盛で 1～2 桁離れています. したがって HOCl と Cl_2 の濃度は、添加した食塩の全塩素成分(Cl_γ)の 1/10～1/100 になっていることが分かります.

また同時に生成された強アルカリ電解水は PH11.5、E_H-0.65 ボルト付近にあり、Pe-11 程度になっています. この点が図 3.2 に〇印で示してあります. これはちょうど水(H_2O)と水素ガス(H_2)の境界線近くにあります.

電気分解を停止した後の水は、空気中の酸素と反応して PH と E_H の値が変化してダイクヴグラム中では上の方へ移動して行きます.

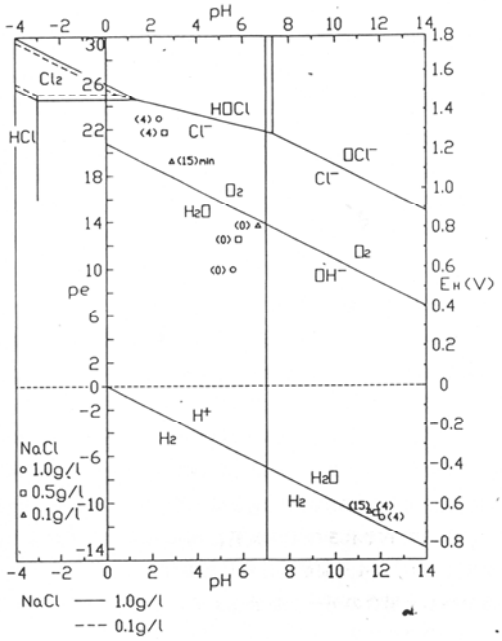


図 3.3 強酸性水の性質を示す Pe-PH ﾀﾞｲｱｸﾞﾗﾑ値

水道水中に投入する食塩の量によって電解水の性質がどのように変化するか、また電気分解する時間の長さによって生成水の性質にどのような変化があるかについて、A 社が独自に計測した Pe-PH のデータがありますので、それを図 3.3 に示します. 食塩には 99%のものを使っています. 図 3.3 には、1 ﾘｯﾄﾙの水道水に食塩 1.0 グラムを投入して作った食塩水(0.1%食塩水)について、各成分のモル濃度境界線の位置を計算して実線で示してあります水道水に添加する食塩の真によって、これらの濃度が理論的にどのように変わってくるのかを調べるために、1 ﾘｯﾄﾙの水道水に添加する食塩の皇を 0.5 グラムの場合(0.05%食塩水)と、0.1 グラムの場合(0.01%食塩水)についても計算しています. 0.5 グラムの場合は、1.0 グラムの場合とほとんど変化がありませんが、0.1 グラムの場合には塩素分子(Cl_2)の存在範囲のところに変化が現われ、それが点線で示されています. 食塩水の濃度が小さくなると Cl_2 の存在範囲が左方へ移動することが分かります・電気分解した強電解水中で Cl_2 が主成分を占めるのは、PH の値が 1.5 以下になるときですから、現実にこれが主成分を占めることはありません.

次に電気分解する時間の長さを変えた場合、食塩水の濃度が水道水 1 リットル中に 1.0 グラムの場合(〇印)、0.5 グラムの場合(口印)、0.1 グラムの場合(△印)によってどのような違いが出てくるのかについて調べています. 図 3.3 の Pe－PH ダイアグラム中にそれらの測定データが示されています. 電解時間は分の単位を用いて〇、ロ、△印の傍のカッコ内の数字で示されています. (0)は電気分解直前の

データです．(4)は 4 分間電気分解した場合、(15)は 15 分間電気分解した場合のデータを示します．これらから次のようなことが分かります．

(1)食塩(99%)を添加するだけで、Pe－PH の値はともに減少し、△(0)は Pe13.6(E_H 0.805 ボルト)、PH6.66、ロ(0)は Pe12.5(E_H 0.742 ボルト)、．PH5.82、〇(0)は Pe9.95(E_H 0.589 ボルト)、PH5.58 になっています．

(2)電解時間が 4 分の場合、□(4)は Pe21.7(E_H 1.282 ボルト)、．PH2.57、〇(4)は Pe22.9(E_H 1.355 ﾎﾞﾙﾄ)、PH2.33 になっています．

(3)電解時間が 15 分の場合、△（15）は Pe19.2(E_H 1.138 ﾎﾞﾙﾄ)、PH2.88 になっています．

(4)強アルカリ電解水の場合には、△(15)は Pe10.8(E_H -0.637 ﾎﾞﾙﾄ)、PH11.5、□(4)は Pe10.9(E_H -0.643 ﾎﾞﾙﾄ)、PH11.79、〇(4)は Pe11.3(E_H －0.666 ﾎﾞﾙﾄ)、PH12.05 となり、いずれの場合も H_2 ガスと H_2O の境界線のすぐ上のところにきています．

以上のことから強アルカリ電解水は､使用する食塩水の濃度を 0.1%から 0.01%にまで変化させても､生成される電解水の性質にほとんど変わりがないことが分かります．

一方強酸性電解水は、食塩水の濃度が 0.01%では生成されず、0.05%以上にする必要がありますが、それ以上 0.1%にしても、それほど大きな変化のないことが分かります．

以上のように、生成する電解水は、Pe(E_H)と PH の値を測定して Pe－PH ダイァグラムにプロットすることによって、はじめてその性質が分かるのです．使用目的に応じた Pe－PH の値を得ることが大切です．そのためには強電解水生成装置を設置すると同時に､PH 計と ORP 計を備えることが必要になります．図 3.3 の Pe－PH ダイァグラム中の〇印は、水道水 1 リットル中に食塩 1.0 グラムを投入して生成した強酸性電解水の位置を示していますが、この点は塩素イオン(Cl^-)の領域にあります．塩素イオンには殺菌作用がないので、これを除いた他の殺菌作用をもつ塩素成分 HCl、$C1_2$、HOCl、$OC1^-$の濃度と PH の関係を求めることができます．このためには〇の点を通る水平線を引き、この線上でモル濃度が等しくなる PH の値を求めます．その結果を図 3.4 に示します．

0.1%食塩水を用いて生成された PH2.5 付近の強酸性電解水では、塩素イオン(Cl^-)以外には、殺菌作用のある次亜塩素酸(HOCl)が存在していることが図 3.4 から分かります．これが、HOCl を強酸性電解水の殺菌作用の原因で有るとする説の根拠になっています。

図 3.4 強電解水中で殺菌作用を示す塩素成分と PH

3-4　強電解水の性質

食塩水又は塩化カリウム水溶液の電気分解によって生成される強電解水には、表 3-2 に示すような特徴があります．

表 3-2 強電解水の性質

強酸性電解水	強ｱﾙｶﾘ電解水
①! PH は約 2.5 で有る	①! PH は約 11.5 で有る
②! 酸化還元電位(E_H)は約 1.3V で有る	②! 酸化還元電位(E_H)は約-0.65V で有る
③! 電子活動度 Pe は約 23 で有る	③! 電子活動度 Pe は約-11 で有る
④! 酸素(O_2)と水が釣り合っている	④! 水素(H_2)と水が釣り合っている
⑤! 塩素成分は主に塩素ｲｵﾝ(Cl^-)で有るが、次亜塩素酸(HOCl)が約 10%を占める	⑤! 水酸化ﾅﾄﾘｳﾑ(NaOH)が出来る
⑥ 電気分解の途中で活性酸素($[O_2^1]^-$.H_2O_2.OH 等)を発生するが､寿命は短い	

(1)強酸性＆強ｱﾙｶﾘ性

特徴の第 1 は、水素ｲｵﾝ（H^+）濃度を示す PH の値が酸性側で約 2.5 の強酸性、ｱﾙｶﾘ側で約 11.5 の強ｱﾙｶﾘ性であることです。PH2.5 は人間の胃液の酸性度に近い値です。人間の胃液は胃の粘

膜から分泌される塩酸、ペプシノーゲン、粘液の 3 種類の分泌液の混合物で、一日平均 2.5 ﾘｯﾄﾙ程度が分泌されています．主細胞から分泌されるペプシノーゲンは、塩酸あるいはペプシンの作用でペプシンになり、PH2～3 の条件下で、ﾀﾝﾊﾟｸ質を分解します．分泌される塩酸の濃度は 0.2～0.5%であり、PH1.0～1.5 の強酸性であります．このPH の値は、食物を食べたあとでは薄められて PH4～5 に変化します．

胃液は塩酸とペプシンによってタンバタ質を消化する役目をしていますが、胃ではアルコール以外に水、タンバタ質、糖、脂肪などの栄養の吸収はほとんど行なっていません．

胃液のもうひとつの役目は強い殺菌作用です．一般に人間の体表面で、外に向かって開いている部分からは、無数のウイルスや細菌などの病原菌が入ってきます．鼻孔からは空気中に浮遊する、あらゆる種類の病原細菌が吸入されます．また口からは食物と一緒に、たくさんの種類の病原菌が入ってきます．健康な人間がこれらの病原菌に侵されないのは、唾液や胃液に強い殺菌作用があるためです．また生物には免疫作用があり、病原微生物に対して二度と感染しないような、抗体と呼ばれるタンバタ質などがその働きをしていますが、その前段階で、胃液が外敵の侵入を防ぐ大きな役目を果たしているのです．

図 3.5 は各種微生物の生存条件の PH を示すものですが、これから分かるように、PH2.5 で生きることのできる微生物は、一部のカビ類を除けばほとんど存在できません．水の電気分解によってできる、強酸性電解水の強い殺菌効果の一部の原因が、ここにあります．

また図 3.5 から、PH11.5 の強アルカリ電解水の中で生育できる細菌類も存在しないことが分かります．PH11.5 まで行かなくても、PH9 ではとんどの細菌は生育できないことが分かります．

水産加工業でこの殺菌作用を利用している例があります(6.強電解水ユーザー取材記)．

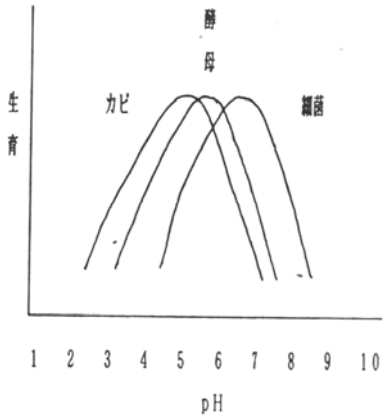


図 3.5 微生物の成育と PH

(2)電子活動度

水を電気分解してつくった強電解水の、電子の活動度 Pe を、水素イオン濃度を表す PH と同じように定義することができ、そのことについて述べてきました．すなわち

$PH = -\log [H^+]$ (3.11)

$Pe = -\log [e^-]$ (3.12)

ここで、強電解水生成に用いる食塩(又は塩化ｶﾘｳﾑ)水溶液の濃度は無限希釈の状態にあると考えられますから、水素イオンも電子も、活量濃度の代わりにモル濃度で与えています．

Pe と PH は、どちらも値が小さいほど、電子又は水素イオンの濃度が大きいのです．また値が大きいほど、電子又は水素イオンが欠乏している状態を示します．電気分解した水は Pe と PH の値の広い範囲に存在し、その例が図 3.2、3.3 に示されています．標準状態(25℃・1 気圧)の水については、PH－4～14 に対して Pe－15～30 の範囲で変化します．実際に測定した強酸性電解水の PH2.5 から、強アルカリ電解水の PH11.5 までに、電子の活動度は Pe23 から Pe－12 まで変化し、その変化の幅は 35 桁(10^{35})にもなるのです．強酸性側で電子不足の状態になり、強アルカリ側では逆に電子の豊富な状態になります．この強酸性側で電子不足の状態が、酸性電解水に接するほかの物質から電子を奪う作用をし、強い酸化作用を示します．これが強酸性電解水に触れる細菌類を殺菌する効果になるのです．

一方強アルカリ電解水は電子の豊富な水で、強い還元作用があります．これについてはまだあまり実験が行なわれていませんが、農業では殺菌のため、強酸性電解水と強アルカリ電解水を一週間毎に交互に散布して、よい成績を収めている例があります．

(3) 塩素

水を電気分解して強電解水をつくるとき、原水に食塩(塩化ナトリウム)又は塩化カリウムを添加しま

す．これは普通の水道水では電気伝導度が低くて、十分な電流を流すことができないからです．A 社(高知市)の強電解水生成装置では、水 2 トンにつき 1.5 キログラムの食塩を加えます．これは水 2 リットルについて食塩 1.5 グラムの添加に相当し、0.075%の食塩水になります．このとき塩化ナトリウム(NaCl)は分解されて、塩素とナトリウムになり、塩素はマイナスの電気を帯び、ナトリウムはプラスの電気を帯びます．この塩素イオン（Cl^-）は酸化されて塩素(Cl_2)になります．Cl_2 はさらに酸化されて次亜塩素酸(HOCl)、又は次亜塩素酸イオン(OCl^-)になります．

塩素（Cl）は、原子番号が 17 で、原子量は 35.45 という値を持っています．塩素の融点は－101℃で、沸点は－35℃であります．このため、塩素は常温で蒸発して気体となり、強い刺激臭を発します．強酸性電解水が臭うのはこのためです．

塩素は常温で気化し、1ppm の濃度でもかなり刺激が強く感じられ、3－6ppm では目、鼻、のどに強い刺激があり、頭痛を招きます．14－21ppm のものを 30 分～1 時間吸引すると生命に危険があると言われています．また 40－60ppm では短時間で生命が危険にいたることを知っておく必要があります．電気分解直後の電解水については蓋をしたままの状態で、水面のすぐ上の部分に検知管を挿入して測った塩素ガスの濃度は、酸性例の空間容量 540cm^3 中で 25ppm ありました．わが国における塩素ガスの許容浪度は 1ppm ですから、この濃度は許容濃度の 25 倍の濃度になっています．電気分解が終われば、蓋を開けてしばらくすると塩素ガスが拡散しますから、そのあとで電解水を取り扱うようにする必要があります．

図 3.2、3.3 から分かるように、塩素(Cl_2)は PH1.5 以下の低いところに存在し、電気分解によって作られる PH2.5 付近の強酸性水には、全塩素量の 1/1000 程度になっています．主として存在する成分は塩素イオン(Cl^-)で、次亜塩素酸(HOCl)が全塩素量の約 1/10 の濃度で含まれています．Cl_2、HOCl、ClO^- は酸化物質で、強い酸化作用をもっています．この酸化力が殺菌作用となります．殺菌のほか漂白作用もあります．電気分解によって作られる強酸性電解水の強い殺菌作用の一部には、このような塩素成分の効果が含まれていますが、しかしこれが主な原因ではありません．

(4) 酸素

水を電気分解すると、プラスの電極偶に大量の酸素が発生します．これは水(H_2O)が酸化されて酸素(O_2)になったものです．この酸素は水中で 1 気圧以上になり、気泡となって空気中へ放出されます．この過程で過酸化水素(H_2O_2)が発生することについてはすでに述べました．この過酸化水素は活性酸素の一種で、強い酸化作用を持っています．酸素の一族にはこのほか、表 3-1 に示すようなものがあり、これらが強酸性電解水の殺菌作用に貢献しているという考え方があります．このことについては 5(強電解水の医療への応用)を参照してください．

表 3－1 酸素の一族

酸素原子	O
酸素分子(三重項酸素)	O_2
酸素イオン	O_2^{2-}
一重項酸素	$^1O_2$(活性酸素)
スーパーオキサイド	$[O_2\cdot]^-$(活性酸素)
過酸化水素	H_2O_2(活性酸素)
ヒドロキシラジカル	・OH(活性酸素)

活性酸素がどうして殺菌作用をもつかを調べるため、でもういちど酸素の原子構造について詳しく考えてみましょう・酸素は元素の周期率表において、原子番号 8、原子量 16 正確には 15.9994）の元素で、8 偶の電子を持っています。一般に、原子番号と電子の数は一致し、原子量はその倍の値になっています．

すべての元素の原子は、原子核と電子からできています．原子核は陽子(ﾌﾟﾛﾄﾝ)と中性子からできていますが、陽子はプラスの電気を持ち、中性子はその名の示す通り、電気的に中性であります．陽子と中性子はクオークという素粒子からできています．一方電子はマイナスの電気をもっていて、陽子のプラス電気と相殺して、すべての原子は電気的に中性になっています．電子とクオークの数は原子番号とともに増加し、

これらの数が違うことで、性質の全く違う、たくさんの種類の原子が出来上がっています.

すべての原子は、中心に原子核があって、そのまわりを電子が軌道回転運動をしていることについては 2 章で述べました. 酸素のもつ 8 個の電子は、K 殻に 2 個、L 殻に 6 個入っていますが、L 殻の電子定員数は 8 個ですから、2 個不足していることになります. L 殻の軌道はさらに、2s、2p の 2 つの違った形の軌道に分かれていて、電子の定員数は 2s に 2 個、2p に 6 個となっています. 電子は軌道回転運動のほかに、コマの回転のような自転運動をしており、これをスピンと呼んでいます. スピンの向きには、右まわり・左まわり(これをアップ・ダウンと呼びます)の 2 種類があります.

2 個の電子がアップ・ダウンの対をなして軌道上にあるときは安定ですが、対をなさずに、アップだけのシングルの状態であるときは不安定で、外から別の電子を奪って安定な電子対をつくろうとします. このような不安定なシングルの電子を不対電子と呼んでいます.

酸素の場合、電子定員数が 6 の 2p 軌道に 4 個の電子しかなく、そのうち 2 個が不対電子と成っています. このため接近するほかの原子・分子から 2 個の電子を奪って、安定な電子対をつくろうとする性質があります. この電子を奪う作用が酸素の酸化作用になりますが、電子 2 個を奪うためには相手の分子も 2 個の不対電子をもっている必要があり、そのような分子は少ないので、結果的に酸素分子は比較的安定な性質になっています.

ここで酸素原子の電子配置を図 3.6 に示します. 酸素原子(0)の電子は、K 殻 1s にアップ・ダウンの 2 個が対電子になっています. 次に L 殻 2s にアップ・ダウンの電子一対、L 殻 2p にアップ・ダウンの一対があり、残りの 2 個はアップだけのシングルの電子になっています.

このような酸素原子(0)が 2 個集まって酸素分子(02)を作る時、2 個の酸素原子の同一軌道の電子が混成軌道というものを作ります・このときｴﾈﾙｷﾞｰ･ﾚﾍﾞﾙの低い結合性と、ｴﾈﾙｷﾞｰ･ﾚﾍﾞﾙの高い反結合性の 2 つの軌道に分かれます. ただ、元々1s にあった電子は 2 対の KK 殻というものを作っています. 2s にあった電子は結合軌道σ2s に一対、反結合軌道σ2s に一対となります. 2p にあった電子は結合軌道σ2p に一対、花, 2p に一対、πz 2p に一対入ります. これらはそれぞれスピンが対になっていますが、最後の 2 個の電子は、πy*2p とπz*2p にそれぞれアップ・スピンのものが一個ずつ入ります.

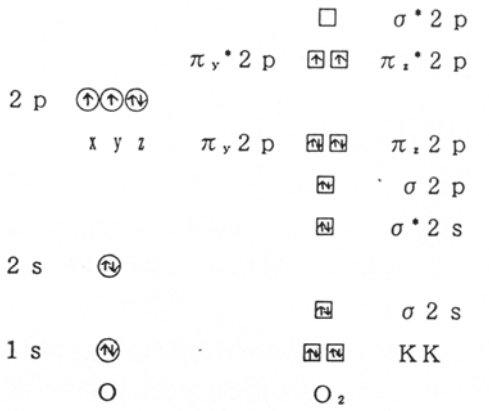


図 3.6 酸素原子(0) 、酸素分子(0_2)の電子配置

この最後の 2 個の不対電子のため、酸素分子はどこかから電子を奪って、安定な電子対を作ろうと機会をねらっています. このことが酸素の酸化作用の元になります. ここに電子 2 個が付加されると酸素分子イオン 0_2^{2-}になります.

以上、通常の酸素原子と酸素分子の電子構造について見てきましたが、次に活性酸素の電子構造はどのようになっているのでしょう. 第 1 番目は一重項酸素($^1O_2$)です. これは上に述べた普通の酸素(これを三重項酸素ともいう)に、紫外線などのエネルギーの強い光が照射されたとき、図 3.7 に示したπy*2p とπz*2p の電子が一緒になって、πz*2p に対で入ってしまって、πy*2p が空き部屋の状態になったものをいいます(図 3.7). この空き部屋にはかから電子を奪って来ようとする性質が、一重項酸素の強い酸化作用の原因になります.

活性酸素の第 2 番目はスーパーオキサイド $[0_2^*]^-$です。これは一重項酸素が、ほかから電子 1 個を奪って、πy*2p だけに不対の電子をもつものです. 一般に、このような不対電子をもつ分子または原子を遊離基、フリーラジカル、又は単にラジカルといいます. ラジカルは一般に不安定であり、分離して取り出すことの出来る物は少なく、化学反応の中間生成物として存在すると考えられます。

図 3.7 一重項酸素($^1O_2$)の電子構造

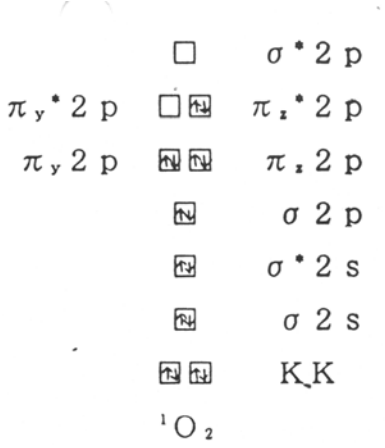
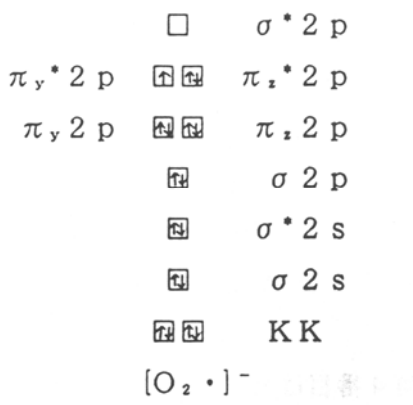


図 3.8 ｽｰﾊﾟｰｵｷｻｲﾄﾞ［02＊］-の電子構造



ﾗｼﾞｶﾙは不対の部屋を埋めるために、他から電子を 1 個奪おうとする性質があり、このことが酸素のﾗｼﾞｶﾙを活性酸素と呼ぶ理由です。ｽｰﾊﾟｰｵｷｻｲﾄﾞの強い酸化作用の原因はここにあります(図 3.8)。

！ 活性酸素の第 3 番目は過酸化水素(H_2O_2)です. これは、水素原子 2 個と酸素原子 2 個からできていますから、合計 18(＝1X2+8 X2)個の電子がπy*2p・πz*2p までの軌道をすべて対で埋め、あとにσ*2p だけが空き部屋になります(図 3.9). 過酸化水素はラジカルではありませんが、不安定で容易に発熱反応を起こして酸素を発生し(2.39 式)、強い酸化作用をもっています. このため活性酸素の仲間になっているのです.

活性酸素の第 4 番目はヒドロキシラジカル(･OH)です. この場合はπy*2p に不対電子があり(図 3.10)、これが強い酸化作用を及ぼします. ！

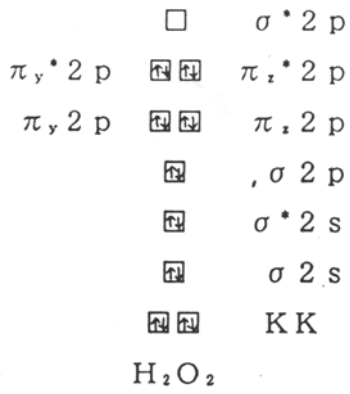


図 3.9 過酸化水素(H_2O_2)の電子構造

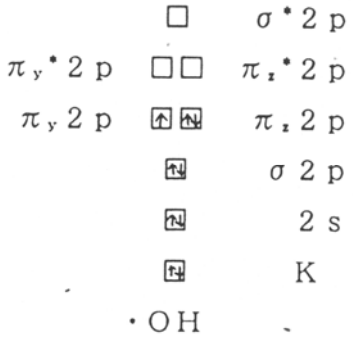


図 3.10 ﾋﾄﾞﾛｷｼﾗｼﾞｶﾙ(･OH)の電子構造

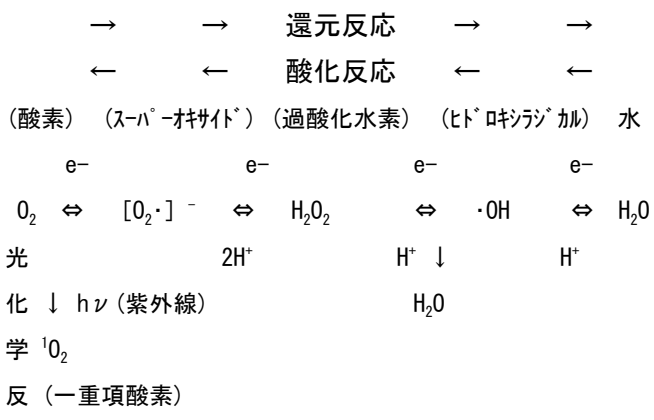


図 3.11 活性酸素の生成過程

以上のように、活性酸素に強い酸化作用があることが、それぞれの電子構造から分かります. それでは、このような活性酸素はどのようにして生成されるのでしょうか. その生成過程を図 3.11 に示します. 図の左から右に向かって酸素分子(O_2)が還元されて活性酸素ができる過程を考えます.

これには２つの過程が考えられ、その一つは、紫外線等の強い光のｴﾈﾙｷﾞｰを受けることによって、一重項酸素($^1O_2$)が出来る過程です。

この数年オゾン層のオゾン量が減少し、これに伴って地上に降り注ぐ紫外線の量が増加しています。このため一重項酸素のできる確率が上がっています.　もうひとつは、生物が呼吸によって吸い込んだ酸素分子(O_2)を、体内の水素イオンと電子によって還元作用を繰り返して、最終的には水(H_2O)還元する作用があります.

図 3.11 に示す 4 段階還元の過程の途中で、スーパーオキサイド(⇉ P3㊧ ･*!、過酸化水素(H_2O_2)、ヒドロキシラジカル(･OH)が次々に発生するのです.これらの活性酸素の強い酸化作用の原因については、上に述べたように、最外殻電子のスピンがアップ・ダウンの対にならずに、アップだけのシングルの不対電子になることなどによるのです.これらの活性酸素は、生体の老化に伴なって、生体内のいろいろの場所で、強い酸化作用を発揮します.これが各種の病気やガンの原因になると考えられています.

このような酸化作用の強い活性酸素が、水の電気分解によって、水が酸化されて酸素分子になる過程で発生し、これらが殺菌作用の一部の原因になっているという考え方があります.すなわち図 3.11 を右から左の方向へ見ると、元の水から電子 e-が一個ずつ取り去られる毎にヒドロキシラジカル(･OH)、過酸化水素(H_2O_2)、スーパーオキサイド(⇉ P3㊧ ･*!ができていることが分かります.しかしこれらの活性酸素の寿命はいずれも短く、生成し終わった強電解水中では、活性酸素ははとんどすべて酸素分子と水に変換されているものと思われます。したがって活性酸素が、強電解水の殺菌効果の主な原因であるとは考えられません.

3－5　強酸性電解水の殺菌作用

前節(強電解水の性質)では強酸性電解水に殺菌効果があることを述べましたが、ここでもういちど殺菌作用について考えてみます.

一般に病原微生物を死滅させる薬物を殺菌薬と呼んでいますが、消毒薬、防腐薬と呼ばれるものも同じような効果をもち、これらの呼び名の間に厳密な区別はありません.殺菌薬の殺菌作用は、病原菌だけでなく、病原菌がとりついている宿主に対しても同様に毒性を示し、特定の病原菌だけを殺すような選択性はありません。このことが多くの副作用を生ずる原因になっています。

殺菌薬には次のような種類のものがあります(生化学辞典・東京化学同人).

①! 原形質中のﾀﾝﾊﾟｸ質と結合する水銀・銀・亜鉛などの重金属化合物.

②! 酸化作用による細胞機能阻害を起こす.塩素・ヨウ素などのハロゲン化合物、およぴ、過酸化水素・過ﾏﾝｶﾞﾝｶﾘｳﾑ等の酸化剤。

③! 細胞膜を浸透して原形質を溶解するアルコール類。

④! タンバタ質変性作用をもつクレゾールなどのﾌｪﾉｰﾙ類.

⑤! 酵素阻害などのアクリジン、アゾ色素などの色素類。

⑥! 界面活性作用をもつ逆性セッケン。

消毒薬の効力は、一般にﾌｪﾉｰﾙ類を基準として、殺菌効果を示す最大希釈率の比で示され、これをﾌｪﾉｰﾙ係数と呼んでいます.

強酸性電解水の殺菌作用には、前節で述べたように、(1)強酸性、(2)電子活動度(酸化還元電位)、(3)塩素、(4)活性酸素の 4 つが考えられます.このうち塩素は生成直後の電解水直上で蒸発する塩素を除けば、次亜塩素酸の効果は弱く、また活性酸素も寿命が短くて、その効果も少ないものと考えられます.これに対して、強酸性と電子活動度(酸化還元電位)のふたつの性質が主な殺菌効果を生んでいるものと考えられます.この場合強酸性というのは水素イオン濃度が高いことを意味し、電子活動度(Pe)の大きい値は極端な電子不足の水であることを意味しています.この電子とイオンの電気力が細菌の細胞壁に作用して、細胞壁を破壊する作用をします.これが強酸性電解水の殺菌作用になります.また電子不足の水は接するものからたちまち電子を奪う性質があり、これは強い酸化作用にほかなりません.

(財)食品薬品安全センタ-が行なった試験では、強電解水の殺菌力を水道水、塩酸（HCl)、次亜塩素酸ソーダ-(10PPm)、塩化ベンザルコニウム（100PPm）と比較しています・食中毒を起こす大腸菌、サルモネラ菌、黄色ブドウ球菌、腸炎ビブリオ菌や、眼疾患・下痢を起こす緑膿菌、院内感染を起こす MRSA、粘膜に炎症を起こすカンジダ菌、水まわりの赤色着色菌である赤色酵母、風呂場の黒カビ菌等について、PH2.6 の強電解水ではすべて 30 秒以内に殺菌されています. これに対して同じ PH2.6 の塩酸で殺菌されたものはビブリオ菌のみで、その他の菌については殺菌に 24 時間を要するか、または全く殺菌されなかったという結果が出ています。この結果から強酸性電解水の殺菌作用が単に PH の効果だけではないことが分かります. なお同じ試験で、次亜塩素酸、塩化ベンザルコニウムと比較して、強酸性電解水の方がより優れた殺菌効果を示しています.

それでは、強酸性電解水の PH と Pe による殺菌のメカニズムについて考えてみましょう. まず殺菌の対象となる病原微生物には、B 型肝炎ウイルス(HBV)、エイズウイルス(HIV)、黄色ブドウ状球菌（MRSA)、大腸菌、サルモネラ菌、結核菌等があります。消毒というのはこれらの病原微生物の数、あるいは活動力を、感染レベル以下に押さえることを意味します.

これらの細菌やウイルスは細胞壁で組まれた単細胞の微生物で、1 ミクロンから 100 分の 1 ミクロン(図 4.2)程度の大きさをもっています・細胞壁にはプロトン・ポンプと呼ばれるものがあって、細胞の中から水素イオンを外に汲み出しています. このため細胞壁の内外間に水素イオンの濃度あるいは分布の差ができて電位差が発生し、これによる電気力が細菌の活動エネルギーに変換されています. これはプロトン駆動力と呼ばれ、あらゆる生物に共通する基本的なエネルギー獲得形式になっています(相沢慎一著、原子が生命に転じるとき、光文社). 細菌は細胞壁から外に出ているべん毛を動かして、ブラウン運動のような運動をします. このべん毛を動かすエネルギーの元がプロトン駆動力によるのです. またこの細胞壁の内外電位差によって、細胞壁の内外にナトリウム、カリウム、カルシウムなどのイオンを取り込んだり汲み出したりして、生命を保つ働きをしています。

このようにウイルスや細菌の活動の根源は、細胞壁の内外にかかる水素イオンの電気力によるということができます。この電気力によるエネルギーを用いて動き回っていることが細菌が生きていることの証拠になるのです。いったん運動を停止すると、その時点で細菌は死滅したことを意味します。
この細菌の運動の停止に、強酸性電解水の低 PH と高 Pe が役目を果たすのです. ウイルスや細菌に、強酸性電解水のように極端に電子不足(Pe 大)、水素イオン過剰(PH 小)の水がくると、細胞壁の内外の電位バランスが完全にくずれてしまって、細菌は一瞬のうちに運動を停止します. これはちょうど人間が雷に撃たれた状態に似ています. この強い電気力によってウイルスや細菌の細胞壁に孔が開いたり、破裂したりして、内部の核(DNA)が溶けだすことになります. このような細菌の活動停止、または溶解・消滅の状態が殺菌になるのです.

一般の消毒薬でもっとも問題になるのは残留性と副作用ですが、通常の殺菌剤では菌だけを殺すという選択性がなく、目的とする殺菌効果のほかに、菌の宿主である植物や人体にも同様の影響を与えます. これに比べて強酸性電解水の殺菌作用は、電子活動度 Pe と水素イオン濃度 PH の電気力によるもので、この電気効果はウイルスや細菌のような薄い細胞壁を破壊することはできますが、植物や、人体のような高等動物の硬い細胞膜を破壊することはできません. これが強電解水に副作用のない原因であると思われます.

また原材料は水、すなわち水素と酸素だけであり、これに小量の食塩または塩化カリウムを添加して電解したもので、発生する塩素も常温で容易に気化するので、電解直後の電解水直上の塩素ガスを吸入しないように注意すれば、強酸性電解水に残留性ということも考えられません. ！

われわれ人間が生活しているところには、無数の病原細菌類が存在しています. わたしたちは病原菌

に侵される可能性と、いっも隣り合わせで生活しています．それでも病気にならずに健康で暮らして行けるのは、唾液や胃液で外敵の殺菌を行なっているからです．唾液や胃液は無意識のうちに分泌され、生体を傷つけることはありません．同じような効果をもつ強酸性電解水は意識して作ることができます．わたしたちはいま、体内の消毒剤である胃液のほかに、体外の胃液とも言える強酸性電解水の強力で安全な殺菌作用を手に入れることができるようになりました。

4　強電解水の農業への応用

！前章で詳しく解析したように、強酸性電解水には大まかに言って 4 つの大きな特徴がありますが、そのうち電子活動度 Pe の大きな値が最大の特徴になっています．この特徴によって、植物に寄生するウイルスや細菌や菌類の殺菌に大きな効果があり、この性質を農業に応用することができます．

4−1　農業への応用

強電解水の殺菌作用を利用して、農薬のかわりにしようという試みは数年前からなされ、ハウス栽培のメロン、野菜、花や、果樹、稲作等に実際に使用して効果を挙げています．
これによって農薬をほとんど使用しない農業が生まれています．

農業に利用する強電解水は、食塩の代わりに塩化カリウムを添加して生成されます．このとき強酸性電解水と同時に、ｶﾘｳﾑを含んだ強アルカリ電解水が生成されますので、強酸性水と強アルカリ水を一週間程度の間隔を開けて交互に散布することで、殺菌と同時に農作物の成長が促進される効果が出ています．このようにして収穫された野菜は、通常の農薬を使った場合の野菜に比べて、格段に味が良くなっています．また安全で安心して食べられることが何よりです．メロンやトマトのハウス栽培に利用している例を取材しましたので、それについてはあとで述べます。

現在、広く深く、土の中にしみ込んだ農薬や化学肥料によって、農業の主体である土壌そのものが破壊されています．また、そこに植物を栽培して食料としている人間も、体内に蓄積された農薬に含まれている化学薬品によって、遺伝子が損傷される可能性が出てきています．農薬ばかりでなく、多くの食品に添加されている酸化防止料、発色剤、色素等々の人体への複合汚染が進んでいます．昔は存在しなかったアトピー性皮膚炎などの病気は、これらの薬品類による人体汚染の現われではないかと指摘する人もいます．
強電解水の農業への利用は、医療への利用とともに、将来にわたって最もその効果が期待されています．現在日本の農薬使用料は世界一で、多くの農薬被害が報告されています．農薬散布による環境汚染も深刻になっています．このため残留性や副作用のない強電解水が役に立つと思われます．強電解水がうまく利用されるようになれば、現在の農薬使用量は半減どころか、10 分の 1 あるいはそれ以下にまで減少させることが可能になるでしょう．

農薬の被害をいちばんよく認識しているのは、農家の人達です。現在強電解水の効用が少しずつ認められてきていますが、強電解水に効果があることを理解しても、農薬を販売している農協等と長期にわたって取り引きをしている関係で、いますぐ農薬にかえて強電解水を採用するというわけにもいかない事情があると思います。したがって強電解水の普及には、まだ時間がかかるでしょう．
！強電解水の殺菌作用についてはわが国で独自に証明されたもので、利用はまだ始まったばかりです．日本以外ではまだその効用に気がついていないようです．これから応用範囲は徐々に、そして無限に拡がって行くのではないでしょうか．
すでにマスコミでも取り上げられたことがあり、企業活動も活発になっています．この強電解水をどのように利用するかは、わたしたち利用者の工夫次第だと思いますが、袴大な宣伝には惑わされることなく、各人が地道に効果を確かめながら利用して行くことが大切です．このことが、現在の汚染された地

球と人類を救う道につながるでしょう．強電解水の普及にはある程度の時間がかかりますが、しかしある時期になれば一気に普及が進むものと予測されます．

農業ではありませんが、食品・水産加工業でも多くの薬品類が使われており、強電解水がこれらの薬品のかわりになることも期待されます．

水産加工業で活用している例では、開いた魚を強酸性電解水で洗うと雑菌が除かれ、そのあと更に、電気分解で同時に生成される強アルカリ電解水に漬けると、干物の味が良くなることが報告されています．現在、干物にする魚の大半は、外国からの輸入物ですので、なおさらよく殺菌する必要があるのです．このように水産業界でも、強電解水の利用が始まっています．実際に強電解水を活用している会社を取材しましたので、6 章で述べることにします．

4−2　植物とはどういうものか

それではここで、そもそも農業とはどういうものかを考えてみましょう・農業とは基本約に人間が土壌に植物を栽培して、それを人間の食物に供する仕事の形態を指しています．

植物が動物と違う最も特徴的なことは、その生命を土壌からの無機栄養物と太陽からのエネルギーだけに頼って生きていることです．動物が有機物なしには生きて行けないのに比べて、植物は有機物を全く必要としない独立的生物であり、これに対して動物は従属的生物ということができます．ですから植物は本来人間のカを必要とせずに生きてきたのですが、人間が都合によって、農薬と肥料を使って単一種類の植物を大量に栽培することになり、現在の農業という形態ができあがりました。したがって農業は、植物の方から見ればありがた迷惑なものということができます．

植物体を構成している物質には、次のような元素があります・それらの含有量は、炭素（C）45%、酸素（O）41%、水素（H）5.5%、窒素（N）3.0%、リン（P）0.2%、カリウム(K)0.4%、・カルシウム（Ca）0.8%、マグネシウム（Mg）0.3%、硫黄(S)0.3%等で、これらの無機元素は、すべて水に溶けたイオンの形で根から吸収されます．すなわちアンモニウムイオン($NH4^{+}$)、硝酸イオン(NO_3^{-})、リン酸イオン（$H_2PO_4^{-}$)、カリウムイオン(K^{+})、カルシウムイオン(Ca_2^{+})、マグネシウムイオン（Mg_2^{+})、硫酸イオン(SO_4^{2-})の形になっています．これから分かる通り、水以外はすべてイオン、すなわち電気を持った形で吸収されるのです．また地上の葉部からは炭酸ガス(CO_2)を吸収し、酸素(O_2)を放出します．

以上の多量必須元素のほかに、微量ではあるが必要な元素もあります．それらは鉄(Fe_2^{+})、マンガン(Mn_2^{+})、銅(Cu_2^{+})、亜鉛（Zn_2^{+})、モリプデン(MoO_4^{2-})、ホウ素、塩素(Cl^{-})等で、ホウ酸(H_3BO_3）以外のものは、括弧内に記したようなイオンの形で吸収されています．

これらの植物にとって必須な元素は、地球の構成元素そのものであります．それは、生物がもともと地球を構成する元素の合成によって発生し、成長し、進化してきたものであるから当然のことです．

このように植物を生んだ地球の表面土壌のうち、直接植物の成長にかかわっている深さはわずか 30 センチと言われています．この深さの土壌中には数えきれないはど多くのウイルス、細菌、菌類や、小さい虫などが住んでいますが、植物はこれらの生物と助け合って生きています．

土壌中には 1cm^3 あたり 1 億個ぐらいの細菌類がいると言われています．根圏微生物と呼ばれるこれらの細菌類は植物の根と仲良く共生して、地球上に植物が誕生して以来ずっと生き残ってきたのです．植物の根は上に記した栄養元素をこれらの細菌類等の助けを借りてうまく吸収しています．また一方、細菌類等は植物の収から糖類などの必要は栄養物をもらって生きています．

ですから植物は、地中の生物と互いに支えあって生命をつないできた生物であるわけです．この関係があとで述べるような現代農業の粥究によって断たれ、一部の植物は人間の都合だけによって生かされる、言わば『人間の奴隷』になってしまいました．これが、植物の方から見た農業というものの実態であります．

植物は本来ジャングルのような形で生育するのがいちばんよい姿ではないでしょうか。人間がなにも手を加えずに放っておくと、自然にジャングルのような形が出来上がってくると思います・多くの種類の植物が、多くの種類の動物(地上と地下に住む)と共生することが、生物の本来の姿だと思います。一ケ所に一種類だけの植物が大量に栽培される農業の形は、本来の自然の在り方に背いたもので、ここに農業の無理・矛盾があり、植物の病気が発生する根本原因があるのです.

4−3　植物の病気と農薬

元来植物は独立で生きることのできる強い生物であった筈ですが、『人間の奴隷』となった種類のものは、もはや独り立ちのできない植物になってしまいました. このためすぐに病気にかかる、ひ弱な存在になってしまいました.

植物は動物に比べて単純な生物ですから、病気の原因も単純です. おおまかに言って土地の中の根から侵入する細菌類等によって病気にかかるものと、地上部の葉から侵入する細菌類等によって病気にかかるものとのふたつに分けることができます. 動物のように脳や心臓や肺や胃や腸や肝臓や腎臓などといった複雑な器官をもっていませんので、病気になる機構も簡単です.

地中の菌類や細菌、ウイルスなどは植物の根から糖類などをもらって生命を保っていますが、共生する植物と菌類には一定の組合せがあり、すべての植物と菌類等が仲良くしているわけではありません. 一部の細菌類とは反共生の関係にあり、このような菌類等が植物の病気の原因になります.

植物の葉の表面にも無数の細菌やカビが生存しています. ここでもそれらの 80%は植物と仲良しの細菌類ですが、20%は仲のわるい細菌類であって、機会をみて葉の表面から表皮細胞に入り込んで、植物の細胞中で繁殖しようとします. 細菌類の方も生きて行くために頑張っているのです. 天気がわるくて、葉の表面に露がたまっているような状態が長く続くと、葉の表面のワックス層が破れて細菌頼が侵入し、植物の病気が発生します.

それでは植物の葉はどのような構造になっているのでしょう. それを図 4.1 に模型的に示します. 薬の表面にはワックス層とクチクラ層という、ろう質の物質でできている層があり、その下に葉の表皮細胞があります. ワックス層は雨水などをはじく作用をするとともに、クチクラ層とともに病菌やカビの侵入を防いでいます. しかし植物の葉の表面に小さな傷ができると、そこからウイルスや細菌が細胞内へ侵入することができます.

それでは、植物の葉の中へ侵入して行く細菌類はどれぐらいの大きさをもっているのでしょうか. ウイルス、細菌、カビの胞子、害虫となるダニ等の大きさを図 4.2 で比較してみましょう。

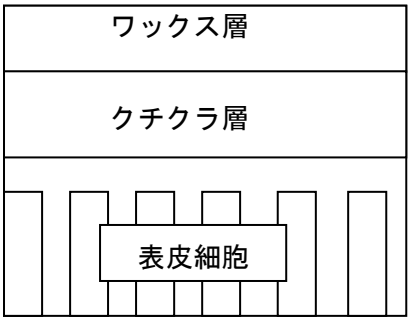


図 4.1 植物の葉の構成

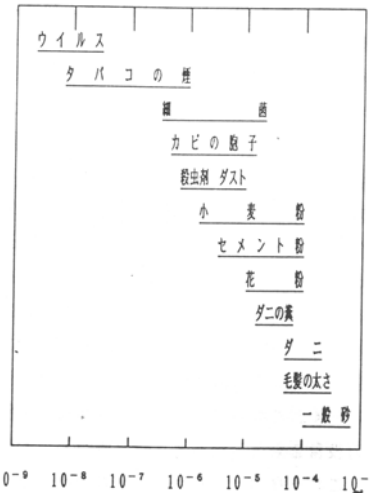


図 4.2 ウィルス、細菌その他の微生物の大きさ(m)比較

比較のためにタバコの煙の粒子、小麦粉、花粉、毛髪の太さ、一般砂等の大きさも示してあります. こ

の図からウイルスは 100 分の 1 ミクロン、細菌、カビの胞子は 1 ミクロン、ダニは 0.1 ミリの大きさであることが分かります．こんなに小さいのですから、目には見えないようなちょっとした葉の傷口からも細菌は侵入して、植物の細胞内で繁殖しようとするのです．これが植物の病気になるわけです．

植物も動物と同じようにいろいろの病菌に対する防疫や免疫の機構を備えていますが、これらに負けると病気になり、その結果枯れて行きます。『人間の奴隷』になってしまったひ弱な植物には、もはや自分自身で病気に立ち向かうだけの力がありません．どうしても農薬の力をかりて細菌を防ぐほかありません．また土壌中に細菌類がいなくなったため、土壌からの栄養元素の吸収能力も落ち、また土壌そのものの細菌類による自然改良もできなくなりました．こうして無機栄養物質の少ないやせた土壌となり、このことが肥料の大量使用へとつながってきたのです．

日本の農家個数と農薬の取り扱い高の推移を見ると、農家の個数が減る一方、農薬の取り扱い高が増加していることが分かります．一戸当たりの農薬使用料は数百万円にものぼると言われています．これらの使用された農薬は、目的とした殺菌・殺虫の役目を果たしたあと、残留農薬として植物自体に残留して、これを食物とする人間の件の中に入ってくると同時に、土壌中に残留した農薬と過剰肥料が地球環境を汚染しているのです．

！ 化学肥料は農薬とともに土壌中の細菌類を殺しています．

上に述べたように、もともと土壌中には無数の菌類、細菌、ウイルス等や、ミミズなどの小動物が生存して、これらの微細動物が土壌を耕していたのです。それが単種類、大量の植物栽培によって、本来植物と共生していた土壌中の生物がいなくなりました．土壌を耕す地下の生物がいなくなったかわりに、大量の肥料が施されることになりました．1991/1992 年度の統計では、日本の耕地 1 ヘクタールあたりの肥料消費は 387 キログラムで、オランダに次いで世界第 2 位であります．また一人当たりの農薬使用量は、世界一になっているということであります．

4－4　農薬と地球環境開題

ここで農薬が地球環境問題にどのようにかかわってきたのかを見てみましょう．

薬が植物の防疫に使われるようになったのには次のようなきっかけがあります．いまから百年以上前の 1882 年に、フランスのミラルデーという人がブドウ園の泥棒対策に散布した硫酸銅と石灰の混合液のかかった植物に、偶然ブドウのベト病が少ないことに気がついて、これから『ボルドー液』がつくられたと言われています。ボルドー液はいまでも広く使われている消毒液です．

それ以来たくさみの種類の農薬が開発されることになりました。とくに第 2 次世界大戦前後から、食料増産のため大量の農薬が使われるようになりました．その契機になったのは 1943 年アメリカ人ボーローグ縛士達が新しく開発した種子と、強力な殺虫剤と、強力な肥料を用いて、メキシコ・ソノラ州において始めた農業実験でした．この実験は穀物の大増産をもたらし、実験はのちに『緑の革命』と呼ばれ、この業績によってボーローグ博士は 1970 年ノーベル平和賞を受賞しました．その後同じ実験が 1962 年にフィリピンで行なわれ、これらの成果を見ていたインド、パキスタン、トルコ、アフガニスタン、ネパール、北アフリカ、スリランカ等でつぎつぎに実験が行なわれることになったのです．こうして生産された米はミラクル・ライス（奇跡の米）と呼ばれたのです．

ところがこの実験がのちに重大な地球環境問題に発展して行ったのです．これらの実験のためには大規模の農場が必要で、それまで必要な量だけを細々と栽培していた地域住民から、彼らが命と同じだけ大事にしていたわずかな土地を奪ってしまうことになったのです．この大規模農場計画は、それまでの人間の手による小規模耕作農業を、トラクターなどの機械を使う大規模機械農業に変換しました．このため土地を失った農民は失業とともに、やがて飢餓難民となって行く、運命をたどったのです．現在の世界の難民問題の出発点がここにあったということができます．これらの経線については犬養道子著

「人間の大地」（中公文庫）に詳しく述べられています.

このような大規模農業は、人間に取ってかわった機械とともに、大量の強力な農薬と肥料を必要としました. このため大地は汚染され、作物は農薬まみれになってしまいました. こうしてニンゲンはすべて農薬の残留する米や穀物や野菜を食べることになってきたのです. 現在の農業はすべてこの流れに沿って発達してきたものです. ！

農薬の歴史にはこのような大規模な地球環境問題が隠されているのですが、農薬の被害は農民を襲い、また消費者に恐怖心を与えることになりました. 多くの農家の人達は多かれ少なかれ頭痛、むかつき、のど痛、咳、吐き気、眼の痛み等の症状に苦しめられたのではないでしょうか. またはこうした症状への不安に悩まされたのではないでしょうか. こうした苦い経験の末、最近になってようやく農薬をなるべく使わない減農薬・無農薬の農業への回帰が言われるようになってきています. ここに強電解水の殺菌効果がたいへん役に立つのです. ！

5. 強電解水の医療への応用

5-1 医療への応用

農業の場合と同様に、強酸性電解水の利用で大きな効果があるものに医療への応用があります.
3-5(強電解水の性質)と 3-6(強酸性電解水の殺菌作用)で述べたように、強酸性電解水にはほかの殺菌剤に比べて格段に優れた殺菌作用があることと、副作用のないことが認められつつあります.
この強酸性電解水は直接疾患部の消毒のほかに、各種の医療用具の消毒、病院での手洗い、診察室や病室の清掃等の感染予防に利用することができます. しかも他の消毒剤とはちがって、残留性や副作用の心配がなく、手荒れなども起こさないので、すでに実際に使用している看護婦さん達に喜ばれています. そのうえ環境を汚染する心配がありません.

東北大学歯学部の奥田頑一教授が行なった各種の細菌についての実験では、顕微鏡下で見た細菌類に強酸性電解水をかけると、細菌の形が溶けたり、穴が開いたりして殺菌されることがはっきり分かりました.　またネズミに強酸性電解水を飲用させ、これだけで育てたねずみに何の障害も見当たちないということです. この点についてはもっと実験を重ねる必要があるのでしょうが、いずれにせよ副作用はいまのところ見つかっていません. このように強酸性電解水の殺菌作用による消毒効果にはすばらしいものがある一方で、人間にとって安全なものであることが証明されつつあります.

消毒・殺菌というのは人間が安全に生きて行くために基本的に必要なことがらであり、単に医療のみならず、獣医、畜産等の分野や、一般生活でも必要不可欠です. 大学では医学部、歯学部、薬学部、農学部、獣医畜産学部、水産学部のほか栄養・保健学部、家政・生活科学路等多くの学部で取り上げるべき問題と考えられます.

また強電解水生成装置を設置しさえすれば、必要に応じていつでもいくらでも生成することができます. 原材料は水道水と食塩だけであり、これに加えて電気代だけで済みますから、経費は従来の消毒剤に比べて無視できる程度に少ないと思われます. 実際に強電解水を使用している医院の例では、消毒薬剤費が半分ぐらいに減ったと報告されていますが、将来は 10 分の 1 あるいはそれ以下にまでなるのではないでしょうか. 経済的な面からも強電解水を利用する価値が高いと思われます.

5－2　機能水シンポシウム，94『機能水の基礎及び医療への応用』

1994 年 11 月 17－18 日、浦安のディズニーランドの近くにある『東京ペイホテル東急』において、機能水シンポジウム’94『機能水の基礎及び医療への応用』が開催されました。ここれは財団法人『機能水研究振興財団』が主催し、厚生省と新技術事業団が後援して行なわれたものです. このシンポジウムで

機能水というのは、主として、この本で述べた強酸性電解水のことを指しています．これは世界ではじめて行なわれたシンポジウムであり、強酸性電解水が実質的に世に認められたことを示す画期的な出来事であったと思います。

大学教授、病院医師、メーカー技術者、営業担当者など 1500 人以上が登録し、2 つの会場に分かれて、常時数百人が出席して、最新の研究成果の発表と、熱のこもった討論が行なわれました．ここで発表・討論された内容が、医学、獣医学関係における強酸性電解水の研究と応用の現状をよく示していると思われますので、ここにその概要をまとめておきます．詳細については財団で販売しているビデオを参照してください．

シンポシウムの第一日日午前は、オープニングセレモニーのあと、アメリカ Jobns Hopklns 大学の G. B. Bulkley 博士による外科医療における活性酸素に閑する講演と、コスタリカ大学の E. F.Montero 博士によるコスタリカにおける水問題に関する講演がありました．そのあと厚生省薬務局医療機器開発課長補佐伏見環氏の『今後の医療機器行政と機能水の医療への応用』と題する講演が行なわれました．これは関係業界の方々にとって関心の高い講演であり、その概要は以下の通りでした．

「昭和 36 年に制定された薬事法が、今回 30 年振りに改正された．医療機器用具の中に医療用物質生成器という分類があり、その中にアルカリイオン水生成装置が入っている．薬事法では、身体の構造に影響を及ぼす製品の製造販売については厚生省の認可が必要である．薬務認可と、それぞれの製品の認可も必要である。申請には必要資料を添付し、効果を裏付ける生物的事実と、電気的安全性を示すことが必要である.申請されたものについては安全審議会に諮問をする．保険適用を受けることも問題になっている．

今回の法改正の背景となった事柄には次のようなことがある．

(1) 医療用具の生産金額が大きくなり、総額 1 兆 4 千億円にもなっている．この金額の規模はアメリカの 1/3、ヨーロッパの 1/2 に相当する．
(2) エレクトロニクスなどが進歩して、製品が複雑高度になってきた．
(3) 輸入と輸出の国際的な調和が必要となってきた．
(4) 老齢化、少子化によって健康意識が高まり、ニーズが高まった．
(5) 規制緩和の推進により、この 7 月に 79 項目の規制緩和が決めらねた．
(6) 製造物責任法(PL 法)が制定された．

今回の法改正には次のような特徴がある．

(1) 市販後の安全牲対策として、人に植え込まれて使用されるもの(ベースメーカー等)には、住所・氏名・製品番号が必要で参る．新医療用具については、4 年間の使用成績を基に再審査をする．技術が進歩するので承認内容の再評価を行なう必要がある．
(2) 保守点検のため、製造業者が医師等に適正な資料を提出しなければならない．医療用具の修理業という業態をつくるよう考えている．
(3) 審査事務の改善．審査には同一性の調査が少なからざる部分を占めていたので、これを一定の調査機関に委託して審査の迅速化を図る．承認を必要としないものを拡大したい．

PL 法が成立して、過失の有無にかかわらず、製造物の欠陥に対して責任を持たなければならないようになった．事故の未然防止が必要である．

以上のように、今年 6 月の薬事法の改正と PL 法の制定によって、医療用具の製造も変わってくるであろう．新しい製品を作る場合と輸入する場合には、より十分な資料を付けて申請する必要がある．その際臨床試験、人権保護の観点が必要となり、これらに迅速に対応できる社内体勢が必要となるであろう．

以上のような講演のあと、第一日日の午後はⅠ・Ⅱ会場に分かれてそれぞれ 9・7 件の研究発表が行

なわれました. 第Ⅰ会場では主として強酸性電解水の医療効果について、大学医学部教授や病院医師の報告がありました. また第Ⅱ会場では水の構造や酸性電解水中の活性酸素の検出など、工学系の基礎的な報告がありました.

第二日日午前にも同様の報告が行なわれ、それぞれ 7・6 件の発表が行なわれました.

第二日日午後の最後のセッションでは、『機能水の現状と将来の展望』と題するパネルディスカッションが行なわれ、東京大学医学部荒記俊一教授と財団法人機能水研究振興財団花岡孝吉理事の司会によって、7 人のバネリストによるまとめと、出席者を含めた討論が行なわれました. それらの概要は以下の通りであります.

名古屋大学工学部野村浩康教授が、機能水の機能の原因と考えられることを以下のようにまとめられました.

”食塩水の電気分解によって生成される強酸性電解水には・OH、O・、H・、Cl・、O_2・等の寿命の短い微量ラジカルの発生、微量金属イオンの特殊な水和構造、溶媒和電子の存在等が機能の原因と考えられる。また超音波を照射した水については・OH ラジカルの存在が、ESR（電子スピン共鳴スペクトルによって確認されている. 今後はこれらのラジカル種の定量が必要である.”

兵庫県立こども病院外科の山口輿弘氏は、病院内での使用状祝を次のように報告されました.

”2 年前から検査室での試験管調査、職員ボランティア、患者のパイロット・スタディ、感染対策委員会での検討後、院内全体での使用を経て現在臨床使用を行なっている. これによって従来の消毒剤に優る効果が確認された. 使用法とし・ては噴霧法、擦過法では不十分で、移動式水洗器を用いる洗浄法がよい. 一日 4 回以上用いて、鼻咽頭 21%、皮膚 79%、外耳 80%に効果があった. MRSA 感染者の治療には強酸性水を使用して 3 日後に好転が見られ、2 週間～1 カ月で治癒した例が報告された. この水は『魔法の水』という声もある.”

社団法人北里研究所　基礎研究所副所長　小宮山寛機氏は、機能水の問題点として次の点を指摘されました.”安全性と効果を科学的手法で調査し、専門誌への投稿などによって第三者の評価を得ることが大事である.

(1) 機能水の効果を調べる前に、生成装置の品質が一定していること(ﾛｯﾄﾁｪｯｸ)と、安全性(保存方法)についての分析方法の確立が必要である.
(2) 安全性について、ヒト、動物、昆虫、植物病原菌などに用いる場合、同時に環境に関するデータを得る必要がある. 反復投与による試験を行なう. 例えば皮膚刺激、眼の刺激、変異原物質など、より詳細に調べる必要がある.
(3) 種々の病気に効果があるとロコミによって宣伝が行なわれると、適切な治療が受けられなくなる(増悪する)ことや、適切な使用がなされなくなる等の状態が起こり、機能水の正しい評価につながらない.
(4) 作用機序(何故効果があるかについて)をはっきりすることが必要である.”

北里大学獣医畜産学部 小山弘之教授は、獣医学での使用と問題点を以下のようにまとめられました.

’『昨年より使用し、犬や猫のウイルスに対して瞬間に感染性を奪うこと、機能水の量を多くすると効果があることが分かった. 一般に獣医学領域での応用としては、

（1）！動物舎件舎、豚舎、鶏舎等〉の消毒、搾乳器具の消毒、病院内の消毒、治療への応用がある.
（2）！小動物分野では、病院内の消毒と治療への応用が考えられる.
（3）！実験動物分野では、動物室や器具の消毒がある.
（4）！獣医公衆衛生分野での応用として屠畜場の消毒がある.

問題点として、電解水生成装置を設置してあるところからどのように生成水を運ぶのか. どこのメーカーでも同じものができるのか. 安全性について、生体に無害かどうかについて、病理学的検討がなさ

れていない.

東芝医療用品株式会社 開発技術部長 工藤好嗣氏からは、機器の開発面からの発言がありました.

”生成装置の設計には安全、確実、安心が大事である. 通常は JIS の基準を守っているが、最近は ISO(国際保障基準)がある.強酸性水の有効性と阻害牲の研究が必要である.確実性のためには、生成条件の中で原水の範囲と生成組成がまだまとまっていない.安全性、確実性のためには複数の判定ターゲットを設定すべきである.

1990 年から文献が発表されているが、データに温度の補正がなされていない。性質を簡便にチェックできる方法が必要である. メンテナンスについては、メーカーにも使う方にも責任がある. 消耗品の適性なデリパリーと品質の適正化が必要である.”

奈良県立医科大学付属病院　中央臨床検査部副技師長　増谷喬之氏は、病院内での使用と今後の課題について次のようにまとめられました.

”1989 年から試している. MRSA による院内感染について、内科・外科検査室、看護婦でグループを作り、毎月 2 回の活動でマニュアルを作成した. 環境、医療従事者からの報告がウェイトを占めている. 看護婦の手洗いに用い、1991 年 11 月より移動式のものを用いている. 使用後 2・3 カ月で発生件数の減少効果が認められ、MRSA 感染者数の経時グラフから見ても効果は明らかになった. 看護婦の証言でも、確かに感染数が少なくなったと言っている.

今後の課題として、環境消毒では表面張力が低く、持続性が短いので消毒剤希釈用に用いてはどうか、保存管理が不安定である等の問題点が残っている.”

最後に財団法人医療機器センター専務理事　箭内博行氏が、行政との対応について発言されました.

”医療用物質生成装置として水の電気分解装置が唯一認められたものであるが、飲み水については学全等で発表されておらず、現在アルカリイオン水生成器協議会ができて効果を検討している. 強酸性電解水については認可されていないが実態面では活発になってきたので、はやく臨床的に確立してほしい. 電解水が医療や飲み水として利用されているのは、世界の中で日本が唯一である. 医療ではアメリカにハイドロクロスというものがあり、ノズルの先端でイオン化して噴射し、バクテリアを消毒するものが唯一認められている. 厚生省に申請するのには器具の規格化と再現性が必要である. 飲み水、純水等と比較するなど、二重盲検法等で客観的に評価されなければならない. 現在厚生省に何件か申請されているが、まだ認可されていない. 厚生省も期待しているので、地についた技術を確立してほしい.”

以上のようなまとめのあと、バネリスト間で次のような意見と議論が出たので、発言の順にまとめておきます.

A：メーカで作ったものをそのまま使う前に、電解水について定義付けが必要である。

B：電解水中にはラジカル、溶存酸素等が存在し、ORP(酸化還元電位)の値が高いが、これらが普通の水に入っていても役に立たない.測定されるものは ORP と PH だけであるが、OH・ラジカル、OCl^-イオン、過酸化水素 H_2O_2 等が働いていることは確かである。このうちいちばん効いているものはなにかを決めなければならない. 電極反応に用いる濃い電解水溶液、強電流、隔膜等をひとつひとつ検討しそ決めなければならない.

C：単に酸性水というだけでは駄目で、中に入っているものによって電位が逢ってくる。

D：電解水の呼び名を統一して、議論を噛み合わせることが必要である。

E：短期の安全性は決められるが、長期の安全性は分からない. 通常の消毒剤(例えばイソジン等)でも、それが分かっているわけではない. 機能水は使用後の残存性がない。

F：アレルギー体質の人もいるので、長期に使っているとなにか不具合が出てくるかも知れない. そのようなことがあれば報告してほしい. 予測し得ないものもあると思う。

G：水について規格をつくる一方、使用する方も一定の条件で使用しなければならない。

H：生成装置が不安定であるので毎日 ORP、$C1_2$、PH について検査しているが、ラジカルまでは計れないので、メーカー側でチェックするものを付けてほしい。

I:ラジカルを計ることはむつかしい。

J:何が作用しているかを決めることはもちろん必要であるが、その解明が臨床のあとについてくるのは仕方がない. とりあえず、ORP、$C1_2$、PH の測定でよいのではないか。

K：計量化してなになにがあればよいと決めることと、理論の問題は別である。細部機構がどうなっているかということをはっきりさせて成果との相関をとらないと、マイナスの効果が出ることがある。マイナスが出ると困る. 効き方がどういう要因と相関がとれるのか、もう一段イオン、分子等機能にかかわるものをはっきりさせるべきである。

L:小動物領域の数十名が東京都内で使用しているが、同じような効果が出ているのかどうか心配している。

M：一時期生成器械を買ってつくっていたが、うまくできなかったので、現在は生成水を買っている. 簡単に作れるものがほしい。

N：物理化学的には電解水中のイオン種を特定して、なにが効いているのかをはっきりさせなければ、応用につながらない。ハード面の統一性が必要である。行政面ではアルカリ・イオン水生成器については認可されているが、強酸性電解水については認可されていない。用語の統一について、財団の検討委員会で暫定的なものを決めた。それは酸性側では、電解生成水溶液、強電解生成水溶液(PH2.5 士 0.3)、弱電解生成水溶液・アルカリ側では、塩基性電解生成水溶液、等である.

以上のようなパネリスト間の討論のあと、聴講者からの意見や質問があり、その一部にパネリストが答える形で進行しました.

〇：手術医学会で、電解生成水についてまとめたものがある.

(1)臨床では滅菌・消毒と治癒が混同されている. また滅菌・殺菌・消毒の区別がはっきりしない. 消毒剤の中には、生体に用いるものと、それ以外に用いるものとの区別がされている. 生体に用いるべきでないものに塩素が入っていることに注意してほしい. 塩素が 30～50ppm 出る. Cl の中身が問題である. Cl があるうえに、更にラジカルがあるので効果がある等をはっきりさせてほしい. 創傷の治癒に酸素のラジカルの関与があるのではないかと言われている.

(2)消毒剤として効果があり、副作用がなく、環境によいことが必要である. これらにばらつきがあると末端では使えない. まず生成物がなにであるかをはっきりさせた上で、使用方法を確定する. 生体に用いることを原則としているので、非消毒物に付着した場合の影響を調べる必要がある.

(3)他の消毒剤との相互作用については、効果が相殺されるのか、増強されるのか. 床を拭く際他のものに付着したときの効果はどうか. ラジカルの 2 次、3 次生成物の生体反応を調べる必要がある.

(4)生成装置からクロール 100～200ppm が発生するのは、使用者の安全性に問題がある. 排水管が破れてしまったことがあるが、排水液に手を加えなければならないか. クロール 10ppm でも何千リットルも使うと、総量としてのクロールが問題になってくる.

(5)コストで優るのかを検討する必要がある. よい事がわかれば、基礎的なことを確立する必要がある。

P：強酸性電解水は広い範囲の病原菌に有効である. 無害で、使用後はもとの水に戻る。消毒剤としては日本で開発されたもののヒットである。副作用がない. 早く認可にもっていってほしい。どういうふうに作用しているかをつめている段階だが、塩素系、色素系の消毒剤でもそれがはっきりしているものはない. いまや、かなりの医療機関で使われているのに、害がひとつも報告されていない. 多くの臨床効果が報告されている。手術に成功しても消毒で死ぬ人があるので、早く結論を出してほしい。

Q：ORP、PH、フリーラジカルが単独では殺菌効果はない. それらがミックスされた状態で効果がある. クロールの害についてはっきりしてほしいとの話であるが、それではイソジンなどの消毒剤に長期の

副作用があるかどうかを知りたい。この水にどこまで要求されるのか。現在既に普及が進んでいるので、誇大宣伝をせず、適正な使用をし、厚生省は早く認可をしてほしい。

R：認可には企業が申請する必要があり、現在数社が申請をしている．長期毒性の効果については問題にしていない．急性毒性ぐらいのところで整理して、取扱説明書を作ってほしい．申請されたものについては薬事審議会で審査する．現在申請されているものはベストでないので指導している段階だ．手術医学会等でガイドラインを出してほしい．”

S：血液が混入していると効力が落ちるのは、血液の中にはラジカル・スカベンジャーがあるので当然である．ESR を使わなくても長期間安定なものなら簡単に分析できる．ガンマー線をあてると酸性側にラジカルができる．アルカリ側ではラジカルの時間スケールは短い．ラジカルの寿命が続くようなPH にするのがよい．機能水は害がないが、ひとつだけ心配しているのは飲んだ場合である．胃の粘膜にラジカル反応が起こるかも知れない．放射線は体内に入るが、機能水は体の表面だけだから、それほど心配は要らないだろう．クロール発生の問題はテクノロジーで解決できる。

T：(1)酸化還元電位はいいかげんな数値であって、正確に測定するのはむつかしい．どういう電極を基準にして計るかが大切である．1150 ミリボルトといっても、普通は水素電極を基準にした値である．一般には銀塩化銀電極を用いているので、これだと 200 ミリボルトの差がある．

(2)現在丸善で百科辞典を編集しているが、用語の統一がむつかしい．中国では北京語を共通語にしているように、水についても共通語を用いるのがよい．強酸化水、強還元水がよいと思う．PH＝7 が中性であるが、これは 25℃の場合であるから、温度が違えば PH＝2.7 で中性であっても不思議でない．

(3)現在のものは塩素系の強酸化水であるが、酸素系の強酸化水もできている．これを用いて同じようなメカニズムの解明をして行く必要がある．

以上『機能水シンポジウム’94』の概要をまとめました。

シンポジウムのポイントは次のようになるかと思います．

(1)機能水、すなわち強酸性電解水の殺菌作用の効果が明らかになった．

(2)現在までの臨床応用で、強酸性電解水を用いて害になるようなことはひとつも出ていない．

(3)殺菌のメカニズムについては、まだ明らかになっていないが、ラジカルによるという意見が多かった．

以上すべて著者のメモに基づいて書きましたので、正確さに欠ける点は著者の責任であります．発表や意見には、著者の見解と違う点も多々ありましたが、ここにはあえてそのまま、なるべく発言に忠実に書きました．

6　強電解水ユーザー取材記

1994 年 5 月 27 日に、高知市で強電解水生成装置を導入して実際の仕事に役立てている医院、水産加工業関係、農業関係の事業所を見学しました．また 12 月 21 日には松山市の食品加工の事業所と、愛媛大学農学部の農場を見学しました．

6－1　D 病院（総合病院）

1994 年 5 月 27 日まずお訪ねしたのが、高知市にある総合病院の D 病院でした．応対してくださった方は薬剤師の O さんで、いろいろと丁寧に説明してくださいました．この病院では 1993 年 10 月頃より生成した強酸性電解水をもらって使いはじめ、12 月 20 日に A 社〈高知市〉とのリース契約で本格的に

導入しています.

強電解水生成装置は専用の部屋に設置され、看護婦さん達が任意に、ポリ容器に汲んで診察室や病室に運んで使っています. 病院でまとめられたプリントを見ながら、その内容について説明していただきました. 以下にプリントの内容を転記させていただきます.

【強酸性水使用現状のまとめ】

(検査室)①毎日の尿コップの消毒②机や検査台の清掃

(栄養科)①手洗い消毒　②配膳車消毒　③下膳消毒

(病　棟)①病室の環境整備(毎朝)床頭台、ﾍﾞｯﾄﾞ周囲､ｻｲﾄﾞﾃｰﾌﾞﾙ､床掃除等

②回診時の手指、聴診器の消毒(ｶﾞｰｾﾞに湿らせたもので拭く)

③体温計、オシポリ、ポータブルトイレの消毒、清掃

④詰め所の掃除　⑤ｼｰﾂ交換時に使用するﾅｰｽ用ｷｬｯﾌﾟの消毒

◎MRSA 患者について ①部屋の掃除(床、スリッパ等)

②部屋の出入り時の手指の消毒　手洗い：ﾃﾞｨｽﾍﾟﾝｻｰの中に入れ毎日交換

手拭き：綿花に湿らせて容器に入れておく

③痰の吸引時の消毒④尿の消毒⑤褥創の洗浄、消毒

◎治療　①足の白癬の洗浄、消毒　②褥創、その他の創部の洗浄、消毒

③糖尿病患者の足浴

次に別のプリントを使って、強酸性電解水の消毒効果を試験した結果について説明していただきました. 試験方法は培養した 4 種の菌(MRSA、S.marcescens、P.aeruginosa、真菌)について、次のようにして試験を行なっています. 分離培養した菌を Mcfarland №1 濃度の菌液に調整後、その菌液 0.5ml を消毒液 4.5ml に分注し、直後(10 秒以内に)ハートインヒュージョン培地に 1 白金耳塗抹し、35℃24 時間培養後、発育菌の有無を判定します.

試験 1：強酸性電解水を 1993 年 10 月 13 月に作成した直後(10 秒以内), 30 秒後、1 分後、3 分後、5 分後、10 分後について効果を調べたところ、MRSA と真菌について、直後のみ(+)で、あとはすべてのケースについて(-)であった. 比較のために行なった消毒用エタノールと塩化ペンザルコニウム(100 倍)については直後も(-)であった.

試験 2：強酸性電解水を 12 月 15 日に作成し、その当日と、3 日後、5 日後、10 日後にそれぞれ効果を調べたが、いずれも(-)であった.

試験 3:試験日は不祥であるが強酸性電解水の作成当日、約 10 日後、約 3 週間後に、上記の 4 種の菌を、それぞれ 5 秒間、10 秒間、20 秒間、30 秒間浸した結果、1 日日はすべて(-)、10 日後は MRSA と真菌について 5 秒間では(+)、10 秒以上ではすべて(-)であった. 作成 3 週間後ではすべてのケースで(+)であった.

以上の結果から O さんは、強酸性電解水の効果は 30 秒間で出る. 生成 10 日後には効果にばらつきが出て、3 週間では効果がなくなってくる. 結局、電解水生成後 3 日間ぐらいは効果がはっきりしているので、その間に使いきるのがよいのではないか、とおっしゃっておられました. また速乾性がないので、注射には使えないということでした.

水虫、床ずれ、糖尿病でじゅくじゅくした足の治療には先生(医師)の指導で用いている. 手荒れはない. 溶れん菌にもよい(殺菌に効く)のではないかと思う、とのことでした.

100 満円の装置のリース代は月 2 万円であるが、消毒薬剤費が従来の半分から 2/3 になっているので、ペイしているのではないかとのことでした.

6－2　M 干物工場

続いてやはり高知市で魚の干物の製造工場を経営しておられる、社長の Y さんを訪問しました. Y さんはこの工場を経営して数十年になり、干物製作のノウハウを塾知しておられます.店の入り口のすぐ右手にある休憩所で、快く取材に応じてくれました.

ここでは主として外国から輸入した魚を・開きにして、県内のスーパーマーケットなどに卸しています.扱う魚には中国からのものが多いが､輸入した魚には一種独特のいやな臭いがあり､このため殺菌、脱臭、鮮度保持のために電気分解装置で生成した強電解水を使っています｡ここでの特徴は強酸性水のはかに、同時に生成される強アルカリ水もうまく利用することに成功していることです.

一般に魚の干物はすぐ酸化して、べとべとになり、腐敗してくるのですが・夏場はとくにこの速度がはやいそうです. 従来は薬品を使って腐敗を防いでいましたが、政府から薬品の使用制限が通達され、どうしたものかと思案していたところ、たまたま問屋の人から紹介があって、A 社(高知市) の強電解水生成装置をリースで導入しました. 導入は 1994 年 2 月初めで、それから約 4 カ月経っていました.

自分のところで食べる牡蠣(ｶｷ)を電解生成した強酸性水で洗ったところ、カキの生臭さが消え、しかもその後､強アルカリ水に浸けると、味がぐっとよくなることを、最初､娘さんが発見しました.カキの卵とじは得に美味しいと、笑っておられました. こうして電解水は、強酸性水で洗うことで酸化防止ができるうえ、強アルカリ水に少し塩を混ぜて使うことで、製品の味をよくすることができるようになったとのことです.

M 工場では現在 30 店舗ばかりの量販点に製品を納めていますが、強電解水の利用を始めてから、取引先が 16 店舗増えて、香川県の観音寺(工場から約 80 キロメートルの距離にある)からも注文が来るようになった. 最近は注文が多くて、応じきれないほどだと、嬉しい悲鳴をあげておられました.

電解水の利用は衛生面で安心感があり、仕事場の掃除も楽になった. 外から店に入ってきても臭みを感じなくなった. 魚をさばくので、どうしても魚の血が流れ、近所から臭いという苦情があったが、それがなくなった. 今までご近所に遠慮しながらやっていたのが、電解装置を導入してからは安心してやれるようになったと、喜びを率直に語ってくださいました.

このお店では、従来からあまり消毒用の薬品を使っていなかったので、干物が腐りやすかったのですが、現在はもうまったく薬品を使う必要がなくなりました. あじやかますなどの干物は、気温が 22.3 度で、2 日経っても、若干乾燥はするが、臭みがなく、味も変わっていない. 干物につやが出て、貯蔵期間も長くなったそうです.

使用する塩分については、従来は塩を 10 度でやっていたものが、7～8 度にまで下げないとからくなり、このため結果として減塩になった. 塩分の度数というのは塩度計を用いて重量%で表されます.小さいかますの場合には、塩度 5 度にした強酸性水に 15 分間浸けて、そのあと強アルカリ水で表面の塩水を洗います.

魚はそのまま調理し、さばいたものを、強酸性電解水 50%を混ぜた水で 10～20 分間洗う. 油のある魚は酸化しやすいが、強酸性水を使うと酸化しにくくなる.

実際に使っている強電解水は、酸性側で PH2.5、アルカリ側で PH11.5 程度のものを使っています. これを使い出してから、いままでに悪い結果はひとつも出ていない.

営業的にも伸びがあり､お得意さんも増えた.いっもは雨期(5～7 月)には干物の需要が少なくなるが、今期はあまり変わらないだろう. 自店の M ブランドでは売っていないが、干物の販売店では、電解水処理をうたって注文も増えてきた.

干物の OEM ですなあ、とモダンな言葉を使って笑っておられました.

なお干物の乾燥には乾燥機を使いますが、特別注文で天日干しも作るそうです. しかし、夏場は蝿が集まり、挨もつくので、天日干し必ずしもよいとは限らないようでした.

6−3　メロン栽培のＭさん

昼食後、この日３番目に訪問したのは、高知県土佐市でメロンのハウス栽培を手広くやっておられるＭさんのハウスです.ちょうどＭさんは、奥さんと二人でメロンの葉の手入れをしておられましたが、その手を休めて快く取材に応じてくださいました．ご夫婦と息子さんの３人で４反のハウス栽培をしておられるそうです.

ハウス内には約50むねの畑があり、１むねに約80本のメロンが植えられています．メロンは年３回収穫され、３カ月毎に交配し、そのあとの１カ月で太るそうです．取材のときには、５月10日に植えたものが、もう人の背丈以上に成長して、ちょうどこれに電気分解した強酸性電解水を散布しておられました.

ここでは１月上旬に、やはりＡ社(高知市)の強電解水生成装置を導入しています．現在は園芸高校の先生の指導で、キトサン入り高機能有機肥料であるキトコーダンの 1500 倍希釈液を使い、消毒には農薬をほとんど使わず、強酸性電解水の PH2.55～2.6 のものと、同時に生成される強アルカリ電解水を、天気の良い日を選んで、3～5 日毎に交互に散布しておられます．ただウドンコ病がついたときには、そこだけにキトコーダンを使って殺菌を行なっています．これはメロンの葉全体にかけるのではなく、その部分だけにかけるのですから、メロンにもまた人体にも薬害はまったく起こらないと説明しておられました.

電解装置を導入する前には、アグロスリンなどの農薬を使って、ご自身くしやみやしゃくりが出て、農薬の被害に苦しんでおられたそうです．いまは安心してメロン作りに専念でき、収穫したメロンの味も、以前よりずっとよくなったと喜んでおられました．お二人で仲良く働いておられるＭさんご夫婦からは、働く喜びがひしひしと感じられました.

6−4　Ｔ食品加工

1994 年暮れの 12 月 21 日に、松山市のＴ食品会社をお尋ねしました.ここは主として東南アジアから輸入した冷凍魚を利用して、珍味類を製造してしほす．ちょうど昼休みにお尋ねしましたが、Ｔ社長さんが直接工場内を案内して、電解水の利用状況について説明してくださいました.

冷凍魚の輸入先はタイ、ベトナム、中国等です．タイからのものは魚の表面がつるつるしている。ベトナムの場合は魚の表面がざらざらしていて、軟らかくておいしい．中国からのものは表面が鮫はだのようになっているが、味はよいとのことです.このような相違は輸出前の次亜塩素酸による消毒によるもので、タイでは日本より強い消毒液を使用しているのではないかと思われます.

取材のときちょうど処理していた魚は、『ままかり』でしたが、その他『あじ』『いとより』『太刀魚』『あなご』等を処理しています。このうち太刀魚だけは国産のものを使用しています.

輸入冷凍魚はまず水をかけて半日ぐらいで解凍する．そのあとアルカリ電解水に漬ける。電解水はPH10.5 のものを生成して、水道水で倍に薄める。そうすると PH の値が 9.0～9.5 になり、これを使っています。

使用する魚については衛生試験所の検査があり、１グラム当たり生菌数 3.000 まではよいことになっていますアルカリ水に漬けると、この数値が 300 を切るほどになるが、生菌数があまり少なくなると商品が硬くなるそうです.従来はアルコール 75%溶液を用いていましたが、この場合には生菌数は 100.000 以上あったそうです.

電解水を使うようになって一カ月 170 缶も使用していアルコールが、現在では 100 缶以下になっています.一缶 4.700 円だから、ここれだけでも 30 万円以上の経費節減になったが、商品の味がよくなって取引先に喜ばれているのがなによりと喜んでおられました．アルコールはこの他だし汁にも少し使うそ

うです.

強電解水生成装置は 7 月に導入し、電解水は毎日一トンだけ作って、一日で使い切るようにしています.直接魚の消毒に使わない酸性電解水は、処理台の掃除や床に撒いたり、またタオルの消毒などに使っています. 魚を酸性水に漬けると色が真っ白くなり、味が抜けるそうです.電解水を使用しはじめたころは、酸性水に漬けたあとすぐにアルカリ水に漬けるような使い方をしていましたが、その後アルカリ水だけで消毒効果のあることが分かり、いまではそれだけを利用しているとのことです.

ここで製造した商品は奈良、広阜、和泉等に卸しているそうです. 取引業者の方で水虫の治療に使うからと電解水を持って帰られる方もあると笑っておられました.

6−5　愛媛大学農学部

同日午後 2 時頃、愛媛大学農学部に秋好広明先生をお尋ねし、農薬を一切使用せずに、強電解水だけで殺菌を行なっているハウス農場を見学させていただきました. ここでは PH2.5〜2.6 の強酸性電解水と、PH11.3〜11.5 の強アルカリ電解水を交互散布しています. 栽培の種類はトマトとメロンです. 4 月 11 日にメロンを植えて 1 週間後から強電解水を交互散布し、6 月中旬までメロンを栽培しています.
その後 9 月 2 日にトマトを定植(苗床から畑に移して本式に植えること)して、やはりその 1 週間後から強電解水を散布しています. 強電解水散布の効果として殺菌にはよく効いた. 株の生育については見かけ上は変わらず、品質ではトマトの糖度が上がったが、メロンについては、葉緑素や玉径について統計的に調べてあまり変化が見られなかったということでした.

ここで珍しい薬害の例を見せていただきました. それはメロンの葉柄部が肥大して、奇形化したものです. これは強電解水に農薬が混ざって薬害が出ました. 強アルカリ電解水を散布したとき、ホースの中に残っていた農薬が混入したために起こったということです. その証拠は、メロンの畑の畦のはじめの数株についてだけ害が出ていることです. 強電解水を散布する株の順序が決まっていて、始の数株にだけ奇形が発生しています. この例は、強電解水と他の薬剤とを混用しないように注意をうながしています.

将来はミカンの木に散布実験をしてみたい. これには黒点病に効果があるのではないかと思っている.また水稲や西瓜にも応用してみたい. 強電解水は減農薬となり、体に害がなく、環境問題にもよいと思っている. しかし強電解水の殺菌のメカニズムが分からないので、これが明らかになれば教えてほしい、というお話でした.

6−6　取材の感想

わずか二日間だけの取材でしたが、強電解水の効果を示すいろいろのお話を聞くことができて強電解水の価値を認識することができました.

いずれのユーザーの方も装置導入からまだあまり日にちが経っておらず、多少試行錯誤的なところがありましたが、それぞれ有効に活用していました. 面接させていただいた 5 人の方からは、それまで使用していた薬剤の不安から逃れられたという安心感と、強電解水をほかより早く導入したという誇りのようなものが感じられました. また、現代社会は競争の社会であり、自分が発見した情報は、なるべく同業者に知らせたくないという心理が働くものですが、今回取材させていただいた方々にはそういうお気持ちはまったくなく、強電解水について多くの人に知ってもらいたいという熱意が感じられました.強電解水が人間の健康にとって重要なものであり、地球の環境にやさしいものであることをよく理解しておられたように思いました.

愛媛大学のメロンの奇形の例は、強アルカリ電解水に酸性の農薬が誤って混入したもので、強電解水の使用法については十分注意する必要があることを示しています.

最初の取材からはや 10 カ月が経っていますので、いまではもっと上手な強電解水の使い方をしておられるのではないでしょうか. これらのほかにも、歯科や果樹園等で強電解水を利用して好成績を挙げていることを聞いていますが、今回は時間がないので、後日取材して強電解水の効果についてまとめて報告したいと思っています.

7　強電解水に関する Q&A

(Q1)強酸性電解水にはどうして殺菌作用があるのですか？

(A1)強酸性電解水には 4 つの特徴があります.

(1) 酸性度が強く、PH 約 2.5 の値をもっています(医療関係では PH2.5 以下、農業関係では PH2.5～2.7 が推奨されています). これは人間の胃液の PH に近い値です. このような強酸性では、一部のカビ類を除けばほとんどの細菌類は生存できません.

(2) 電子活動度が Pe22～23 で、極端な電子不足の状態になっています. 電子が不足すると、この水に接するほかの物質から電子を奪ってしまいます. これは強い酸化作用になり、酸化還元電位 E_H が約 1340 ミリボルトという高い値になっています.

(3) 食塩(塩化ナトリウム)又は塩化カリウムを添加して電気分解を行うため、塩素とその酸化物質である次亜塩素酸が生成されます. 水道水にも塩素が含まれていますが、これよりも強い塩素の量になります. この塩素も消毒作用をもっていますが、これだけで殺菌作用を説明できるほどの濃度ではありません.

(4) 酸素を多く含んでいます. この酸素ができる過程で活性酸素が生成され、強い酸化作用をもちますが、活性酸素の寿命は短かく、生成し終った強電解水中にどれだけ含まれているのか、まだはっきりしたことは分かっていません.

以上 4 つの特徴のうち、(2)の電子活動度 Pe の大きな値が強酸性電解水の最も大きな特徴で、極端な電子不足の状態に成っています。このため接触する病菌類の細胞壁の内外の電位差を狂わせ、その強い電気力で細菌の細胞壁を破壊することができます。この性質が強い殺菌作用になります. これはいままでのどんな殺菌剤にもなかった新しい性質で、このため強酸性電解水は残留性や副作用のない理想の殺菌剤になります.

(Q2)強酸性電解水には殺虫効果はないのですか？

(A2)殺菌効果と殺虫効果は本質約に同じものですが、強さに違いがあります. 殺菌は細菌を殺す作用ですが、殺虫は虫を殺す作用です. 細菌にはいろいろの大きさのものがありますが、例えば 1/100 ミリメートルのものを考えます. また虫にもいろいろの大きさのものがありますが、例えば 1 ミリメートルのものを考えます. そうすると、これらの菌と虫では、大きさに 100 倍の違いがあります. これを体積又は体重で比較してみますと、菌と虫の差は 100^3 倍、すなわち 100 万倍もの違いがあることになります. 殺菌剤が殺虫剤としての効果を示すためには、100 万倍の強さがなければなりません. 強酸性電解水の殺菌作用は、電子活動度 Pe と水素イオン濃度 PH の電気力によって、細菌の細胞壁を破壊することによるものです. 一方虫は細菌に比べて厚くて強い細胞膜をもっているので、強電解水の電気力で破壊することができません. 強酸性電解水はあくまでも殺菌用として有効であって、殺虫にまで効果を期待することには無理があります. 殺虫に効果のあるものは当然人体にも影響を与えますが、強酸性電解水は人体には無音で、残留性や副作用のない優れた殺菌剤になるのです.

(Q3)強酸性電解水と酸性雨とはどこが違うのですか？

(A3)工場の煙突などから空気中に排出される煙や自動車の排気ガスは、主成分として硫黄酸化物(SO_X)や窒素酸化物(Nox)を含んでいます. これらの気体は空気中でいろいろの化学変化をして大きくな

り、エアロゾルと呼ばれる微粒子になります．これが核になって、その周りに空気中の水分が凝結して雨滴が形成され、地上に降ってきて酸性雨となります．また落下中の雨滴に空気中の S，O_X や NOx などが溶け込む場合もあります．そのはか微粒子のまま地上に落ちてくるものもあり、こちらは乾性の酸性雨と呼ばれています．これら湿性・乾性のものを総称して酸性雨と呼んでいるのです．酸性雨の酸性度を表す PH の値は 4 程度になっています．

酸性雨には硫酸やアンモニアが含まれていますから、これらが森林に降ると、直接木の葉を枯らせる作用をします．また地上に降った酸性雨は地中にしみ込んで、そこに含まれているアルミニウムなどの金属成分を溶かして、これが木の根から吸収されると、根を詰まらせ、結局木を枯らせることになるのです．

一方強酸性電解水は水道水にごく小量の食塩(又は塩化カリウム)を添加して電気分解を行なって作ります．したがって強酸性電解水には水道水よりも強い塩素が含まれますが、他はすべて元の水の成分である水素と酸素だけからできています．PH の値は酸性雨よりも強い 2．5 程度になっています．強酸性電解水には、酸性雨のような硫黄や窒素などの成分は全く含まれていません．電気分解直後の電解槽直上の空気中には塩素ガスが発生しますので、これを吸入しないように注意する必要がありますが、植物や土地に散布しても、塩素成分は蒸発し、水素と酸素の成分は水に還って、環境を汚染することはありません．

(Q4)強酸性電解水は人体に害はないのですか？

(A4)人体に害があるかないかは、その量によって決まります．例えば病院でもらった薬を決められた用法で服用すれば、薬としての効き目かありますが、用法の何倍も何十倍もの量を服用すれば、薬は毒としての役目に変化します．このように薬と毒とは表裏一体の関係にあります．これと同じように、強電解水も普通の使用法にしたがって使用する限り、全く害はありません。しかし、食塩(又は塩化カリウム)を決められた量の何倍も、何十倍も入れて電気分解すると、大量の塩素が発生しますので、これを吸入すれば当然人体に害を与えます。しかも現在販売されている強電解水生成装置では、このような強い酸性水を作ろうとしても、電源のフューズが切れるように成っていますから、現実には不可能と思われます．したがって、あくまでも決められた通りの使い方をすることが大事です．

(Q5)強酸性電解水には脱臭効果があるのですか？

(A5)脱臭とは悪臭を取り除くことです．一般に悪臭は、腐敗菌の繁殖によって、その菌が排泄する物質のなかに枇素などの悪臭を発する物質が含まれている場合に起こります．したがって腐敗菌を殺せば、悪臭も出なくなります．強酸性電解水には強い殺菌作用がありますので、腐敗菌を確実に殺すことができます．その当然の結果として脱臭にも効果があります．

(Q6)強アルカリ電解水は飲んではいけないでしょうか？

(A6)強アルカリ電解水の酸性度を表す PH の値は 11．5 程度で、この値は飲用には強過ぎます．普通飲用のために生成するアルカリイオン水と呼ばれる水は、PH10 程度のものです．PH の値は 1 違うと水素イオン濃度が 10 倍違うことになりますから、1．5 の違いは約 30 倍の違いになります．したがって PH だけから考えると、30 倍に薄めると、飲用のアルカリイオン水の PH に近くなります．しかし、強電解水を作るとき食塩を添加しますので、普通の水道水だけを電気分解した場合よりも多くのナトリウム・イオンを含んでいます．飲用を目的にしたアルカリイオン水生成装置の場合は食塩を添加しないので、普通の水道水に含まれているカルシウムなどのミネラル成分以外のものは含まれません．薄めて飲んでも害になることはありませんが、飲用のためにははじめから飲用に適した電解水を生成するようにしたいものです．

(Q7)強電解水はどのように貯蔵すればよいのですか？

(A7)強電解水は化学反応しやすい、活動性のある水です．一般に化学反応は、温度と光によって促進されます．また空気中に含まれている酸素とも反応しやすいのです．このためなるべくこれらの反応を抑えるように貯蔵する必要があります.そのためには遮光性のある物質でできている密閉容器に入れて、低温のところで貯蔵するのがよいでしょう．このような注意をして貯蔵すれば、2～3 週間ではほとんど性質に変化を生じません.しかしこの間に貯蔵容器の栓を開けたり閉めたりすれば、それだけ強電解水としての性質は弱まって行きます.特にアルカリ電解水は酸化されて Pe の値があがります.また陽のあたるところへ置くのは避けなければなりません.

(Q8)電解水と水道水はどのように違うのですか？

(A8)水道水は、地下水や河川からとった自然の水を濾過して、それに殺菌用の塩素を加えて生成します.この塩素の量は、家庭の水道蛇口で 0.1ppm 以上の値になっていなければなりません．この量は水道法という法律で決められています．0.1ppm 以上の塩素の量というのは、大腸菌が検出されない程度の殺菌作用があることを意味しています．したがって大阪など大都会の水道水は、地方の小都市の水道水より多くの塩素を含んでいます．それでも日本の水道水は、どこで飲んでも、それによってすぐ健康を害なうというほどのものではありません.

一方電解水は普通の水道水を電気分解して、酸性の水とアルカリ性の水に分離したものです．水道水に食塩を小量添加すると、更に酸性度の違ういろいろの水を作ることができます．これは自然には存在しない、人工の水ですが、用途に応じて無限の種類の電解水を作ることができます．強酸性電解水(PH 約 2.5)は電子活動度 Pe が高い値をもち、強い殺菌作用があります．普通のアルカリ電解水(PH 約 10)は胃酸過多などの治療に飲用することができます．強電解水には農業、水産業、食品加工、医療、獣医、畜産等の分野で、無限の用途が拡がってくるものと思われます.

(Q9)水を電気分解するとき、医療関係では食塩を添加し、農業用では塩化カリウムを添加するのは何故ですか？

(A9)普通強電解水を生成するときは、水道水に食塩を添加して電気分解をします．これは食塩が電解物質であり、これを添加することによって電解効率をあげることができるからです.また食塩がもっとも手近かにあり、安価であるからです.医療関係では主として強酸性電解水のみを使用し、強アルカリ電解水はあまり利用されていません．一方、農業用では殺菌用に強酸性電解水と強アルカリ電解水を交互に散布して、殺菌のほかに、植物の発育促進の効果が出ています．これは塩化カリウムを添加して電解分解せ行うため、強アルカリ電解水の中にカリウムが含まれ、これが窒素、リン酸、カリウムの 3 大肥料要素の一つで、このカリウムが肥料の役目をするものと思われます.

(Q10)食品関係で電解水はどのように利用されていますか？

(A10)食品関係で強電解水が利用されている例としては、魚の干物工場や珍味加工工場等があります

ここでは開いた魚を強酸性水に漬けてこ腐敗防止と脱臭のための殺菌を行っています．その上同時にできる強アルカリ水に浸けると、干物の味がよくなることが分かりました．これによって干物の保ちがよくなった上、味もよくなり、この結果注文も増えているということです．別の珍味加工工場では､強酸性電解水を用いると殺菌し過ぎて味が落ちるということでした.このため PH9.5 ぐらいのアルカリ性電解水を使て、十分殺菌効果があがっています．ここでは強酸性電解水を処理台の清掃や床の洗浄に役立てています．干物工場では悪臭がなくなり、周辺住民からの苦情もなくなっています。従来殺菌のために使っていた化学薬品は一切使う必要がなくなり、薬品による副作用などの心配もなくなりました．まさに健康に配慮した、環境にやさしい使用例です．強電解水の使用にはこのほか無限の可能性がありますので、各ユーザーが情報を交換し合いながら、新しい使用法を開発して行く必要があります.

(Q11)強酸性電解水の医院での使用法を教えてください.

(A11)強酸性電解水には強い殺菌作用がありますから、医院での使用に適したものと考えられます．ただし注意していただきたいことは、現在のところ、強電解水生成装置は医療用物質生成器として厚生省に認可を申請中のものであり、まだ認可を得ていません．5 章(強電解水の医療への応用)で述べたように、現在多くの大学医学部や病院では、すでに強酸性電解水が消毒に有効であることが認められており、これを使って大きな効果をあげています．そればかりか、ネガティブな結果は出ていません．医院では通常の手洗い、手術後の殺菌・消毒、医療用具の消毒や、患者の体を拭いたり、ベッドや床の清掃などに利用されています．『手洗い』が医療行為の基本と考えられますが、このための移動用の強電解水手洗い装置が開発されています．これは生成した強電解水を入れたタンクから、光センサー又は足踏み式のスイッチで、蛇口から電解水が出るようにしたものです．この流水の中で、水道水の場合と同様のやり方で、手を相互に擦って洗うのがいちばんよいでしょう。
噴霧式やティッシュで拭くぐらいでは不十分と思われます。強酸性電解水は、他の殺菌薬剤に比べて安価に生成することができますから、あまり倹約せずに使用するのがよいのではないでしょうか．ただし使用済みの強酸性電解水をそのまま排水すると、配水管に錆びを生じますので、大量の水道水でうすめる必要があります．

(Q12)強酸性電解水は水虫の治療に効果がありますか？

(A12)水虫は足のうらや指の間などがただれたり、水泡ができたりする病気ですが、これはカビ(真菌)が皮膚に寄生して起こすものです．カビにはいろいろの種類があり、その代表的なものが白癬菌です．白癬菌によって起こる病気を総称して白癬と言います・白癬は足だけでなく、頭、手、股などにもできます．強酸性電解水には強い殺菌作用がありますので、白癬菌の殺菌にも効果があり、皮膚の表面のただれなどにはすぐに効き目が現われることが分かっています．
著者は医師ではないので治療法をアドバイスすることはできませんが、自分で強酸性電解水を使った経験についてお話します．過去 30 年間も悩まされてきた水虫が 1994 年の異常高温の夏に猛烈に繁殖し、とても市販の治療薬では間に合わなくなりました．ちょうどよい機会だと思って、強酸性電解水を人体実験のつもりで使ってみました．はじめできるだけ強い強酸性電解水を作り、足首まで 30 分以上も浸けることを 10 日間ほど続けたところ、ただれていたところは治ってきましたが、それまでなにもなかった足の甲の指の付け根付近に赤いぷつぶつが出てきました．これは明らかに電解水によるアレルギー症状と思われたので、浸ける時間を 10 分間程度にしたところ、10 日間ぐらいでぶつぶつはなくなりました．その後も強酸性電解水に 10 分間ぐらいずつ毎日浸け続けたところ、いつのまにか親指の爪の一部が曲がって波をうったようになり、また親指の内側のところに前とは別のぶつぶつができてどうしても治りません．その後やっと気がついて、電解水に浸ける時間を 1～2 分ほどにしたところようやくぷつぷつもなくなりました．しかし強電解水を水虫の治療に用いる方法はまだ確立していません。

(Q13)Pe、PH、E_Hの測定にはどのような器具がよいのですか？

(A13)Pe(電子活動度)を直接測定する装置はまだ開発されていませんが、PH の測定には、『PH メーター』、E_H の測定には『ORP メーター』という測定器があり、それぞれ製品として販売されています．ORP というのは酸化還元電位(Oxdation-Reduction Poteatial)の略ですが、これはわが国だけの呼び名で、英語ではレドックス(Redox)ポテンシャルという呼び方をします．電解水の性質は、PH と EH の両方を測定して、Pe(E_H)－PH ダイァグラムにその測定値を書き込んではじめて分かるものです．PH が 2.5 付近、Pe が 22～23 (E_Hが 1.340 ミリボルト) 付近であれば、強酸性電解水の特徴である強い殺菌性のある水になってしはす．このように PH と E_H を測定してはじめて、生成した電解水が使用目的に合っているかどうかが分かります．
電解水には無限の種類がありますので、必ず、どういう水になっているのかを、PH 計と E_H 計を使

って、自分で確かめながら使用するようにしたいものです.

(Q14)電解水の酸化還元電位(E_H)の測定について注意すべき点を教えてください.

(A14)一般に酸化還元電位(E_H)は電解水中に含まれている水素、酸素、塩素成分などの濃度によって発生するものです.このような電位は、白金などの電極を使って、基準となる電極との差の電位差を測定し、基準電極の電位を差し引いて求めます・基準電極には水素電極というものを使います.

こうして測定した酸化還元電位は水溶液の温度によって違ってきます.従って E_H の測定に際しては、基準電位の補正と同時に、必ず水温を測定して、温度補正をする必要があります.補正とは標準状態の値に直すことを言います. 標準状態とは、1 気圧、25℃の状態のことです. 購入した ORP 計には基準電位と温度の補正表がついていますので、これを使って必ず 25℃の値に直しておく必要があります。そうしないと、別のとき計った値と比較することができません. 気圧については通常補正の量が小さいので、補正の必要は有りません。

(Q15)強酸性電解水は鉄などにかかると錆びるのではないですか？

(A15)その通りです. 強酸性電解水には強い酸化作用がありますから、鉄などの金属類にかかると当然錆びを起こします. したがって、強酸性水のかかったところを強アルカリ水で中和するか、又は水でよく洗っておく必要があります. 流しのシンクなどに流す場合も、そのあと十分に水道水を流しておくことが必要です.

(Q16)強電解水を使用してなにか不具合なことは起こっていないのですか？

(A16)強電解水の使用法を誤ったために生じた不具合な事例を 4 つ述べておきます.

(1)メロンのハウス栽培では、数日～一週間程度の間隔で、塩化カリウムを添加してつくった強酸性電解水と強アルカリ電解水を交互に散布しますが、たまたま農薬の残留していたホースを使って強アルカリ電解水を散布したところ、メロンの葉柄部が盛り上がって奇形が生じました. これは強アルカリ電解水には決して農薬を混合してはいけないことを示しています.

(2)また著者自身の水虫実験のため、毎日 30 分間以上も強酸性電解水に足首まで浸けていたところ、水虫によるただれは治まってきましたが、足の甲にアレルギー反応と思われる、赤いぶつぶつが出ました・このため浸ける時間を 10 分間にしたところ、ぶつぶつは治りましたが、何時のまにか親指の爪の一部が曲がり、表面が渡をうったようになりました。そのうえ親指の内側の皮膚に赤いぶつぶつが出てなかなか消えませんでした. 結局足を貴ける時間が長過ぎたことが原因であると分かりました.

この実験から長時間、長期間強酸性電解水に足や手を浸けてはいけないことが分かりました。せいぜい 2 分以内にしておくのがよいと思われます。強電解水には強い殺菌作用がありますが、人体にも長時間接触すると害が出ることを示しています。

(3)規定量以上の食塩を添加して電気分解を行い、生成直後の強酸性電解水から蒸発する塩素ガスを吸入して、気分が悪くなったという例があります.

(4)強酸性電解水をそのまま排水すると水道管などに錆びを生じます. 必ず大量の水道水で洗浄しておく必要があります.

8　おわりに

無害で強い殺菌力をもつ強電解水は、実際に使用している人達から’’ 驚異の水”、”魔法の水”、”奇跡の水”と呼ばれて、その効果がたいへん喜ばれています. 化学薬品を多く使用している農業、医療、畜産、水産加工業等多くの分野にこの強電解水の殺菌力を応用することができ、これが農薬をはじめ各種の薬物汚染に苦しんでいる人々の救いとなり、広く地球環境の浄化に役立つと期待されています.

しかしこれまで強電解水の殺菌作用の原因について十分納得のいく説明が出されていませんでした. そのためこの本では水の電気分解の基本から出発して、食塩の添加によってできる強電解水中の水素、

酸素、塩素の各成分濃度を『電子活動度 Pe』と『水素イオン濃度 PH』を用いて作成した『Pe-PH ダイアグラム』上に示し、このダイアグラムを検討することで強電解水のいろいろの性質を調べることができました.

こうして調べられた強酸性電解水の性質として、(1)強酸性(PH の低い値)、(2)電子活動度 Pe(酸化還元電位の高い値)、(3)次亜塩素酸、(4)活性酸素の効果が挙げられます. これらの性質のうち強酸性電解水の殺菌効果の最重要な原因として(2)の電子活動度(Pe)の効果が挙げられます.

(1)の PH の効果については、同じ PH の値を持つ強電解水と塩酸を比較試験した結果から、塩酸で殺菌できない菌が強酸性電解水では確実に死滅することが証明されているので、PH の効果だけではないと思われます. (3)の次亜塩素酸については、強酸性電解水中の塩素成分について詳しく解析した結果、生成される塩素は主として殺菌作用のない塩素イオンの形となり、殺菌力のある次亜塩素酸の濃度は低いことが理論的に示されます.また(4)の乾性酸素は電気分解の途中で発生するが、生成された強電解水中では酸素分子と水に分解してしまうことが指摘されます.

一方(1)～(4)の性質が相乗して殺菌効果を発揮しているのではないかという説もありますが、この‥相乗”ということを証明するのは難しいことです. これに対して強電解水の殺菌作用の主な原因を電子活動度(Pe)に求めるのには合理的な根拠があり、そのことがこの本の主題になっています.

以上のことから電解水に添加する食塩の量は必要最小限にとどめ、PH が低くなることよりも Pe が高くなるように電解することが必要になります。こうすることで強電解水としての特徴がより強く出ることになります。このためには、強電解水を生成するとき PH 計と ORP 計を用いて、PH と酸化還元電位(E_H)を測定し、測定した E_H から(3.38)式

$Pe = 16.9\ E_H$ (E_Hの単位はボルト)

E_Hの単位がミリボルトの場合は

$Pe = 0.0169\ E_H$ (E_Hの単位はミリボルト)

を用いて Pe を求め、『Pe－PH ダイアグラム』のどこにくるのかを見ることで、生成された強電解水の性質を知ることができます。3 章に示した『Pe－PH ダイアグラム』上に測定値を記入して判定するとよいでしょう.

『Pe－PH ダイアグラム』は電解水の性質を知るために必要不可欠なもので、電解水に関係するすべての分野で広く利用されることを患っています.

今後はここで述べた『強電解水の原理』に基づいたいろいろの実験を行なうことで、更に新しい性質が見出されるかもしれません. さらに検討を重ねて、強電解水に関するより正しい理解が得られるよう努めたいと思います. それとともに実用面での『応用』がいっそう進められて、理論と実験の両面から強電解水の研究が進展することを願っています.

実際に利用されているいくつかの例も示し、またよく耳にする疑問点に答える形で、使用上の注意点などを（Q&A）にまとめておきました. 現在強電解水の効果についてより多くのユーザーから体験談をお聞きする計画をしていますので、その結果については将来報告したいと思っています.

この本を書くにあたって内外の多くの文献・書籍を参照させていただきました. また取材させてしいただいた方々や、直接種々の有益な情報をお寄せくださった多くの関係各位に心から感謝の意を表します.

小川　俊雄〈おがわとしお〉

1927 年生高知市出身 1947 旧制高知高等学校卒業

1951 京都大学理学部地球物理学科卒業

1951 京都大学理学副手 1953～1958 京都大学大学院

1958 京都大学理学部助手 1961 理学博士

1961～1963 米国ニューメキシコ鉱工大学客員研究員

1963 京都大学講師 1969 京都大学助教授

1976 米国ニューメキシコ鉱工大学客員教授

1979～1981：1985～1987 日本大気電気学会会長

1982～1988 国際大気電気学会会長 1985 高知大学教授

1990 高知大学名誉教授

強電解水の原理と応用　　著　者　小川俊雄

1995 年 7 月 1 日 発行　　定価 1500 円(体体 1456 円)　　発行所　SLI 出版　〒780 高知市鴨部 1510 ｻﾝｾｯﾄﾋﾞﾙ 2C

TEL/FAX 0888-43-7701　　印刷所（有）西村謄写堂

強電解酸性水は水虫に効果があるか？

強電解水の原理と応用

高知大学名誉教授　小川俊雄　文献より

（Q12）強酸性電解水は水虫の治療に効果がありますか？

（A12）水虫は足のうらや指の間なあがただれたり、水泡ができたりする病気ですが、これはカビ（真菌）が皮膚に寄生して起こすものです・カビにはいろいろの種類があり、その代表的なものが白癬菌です。白癬菌によって起こる病気を総称して白癬と言います。白癬は足だけでなく、頭、手、股などにもできます。強酸性電解水には強い殺菌作用がありますので、白癬菌の殺菌にも効果があり、皮膚の表面のただれなどにはすぐに効き目が現われることが分かっています.

著者は医師ではないので治療法をアドバイスすることはできませんが、自分で強酸性電解水を使った経験についてお話します。過去 30 年間も悩まされてきた水虫が 1994 年の異常高温の夏に猛烈に繁殖し、とても市販の治療薬では間に合わなくなりました。ちょうどよい機会だと思って、強酸性電解水を人体実験のつもりで使ってみました. はじめできるだけ強い強酸性電解水を作り、足首まで 30 分以上も浸けることを 10 日間ほど続けたところ、ただれていたところは治ってきましたが、それまでなにもなかった足の甲の指の付け根付近に赤いぶつぶつが出てきました. これは明らかに電解水によるアレルギー症状と思われたので、浸ける時間を 10 分間程度にしたところ、10 日間ぐらいでぶつぶつはなくなりました. その後も強酸性電解水に 10 分間ぐらいずつ毎日浸け続けたところ、いつのまにか親指の爪の一部が曲がって波をうったようになり、また親指の内側のところに前とは別のぶつぶつができてどうしても治りません. その後やっと気がついて、電解水に浸ける時間を 1～2 分ほどにしたところようやくぶつぶつもなくなりました. しかし強電解水を水虫の治療に用いる方法はまだ確立していません。

この文献は１９９５年に発行された物です。

強酸性電解水の特性が十分に理解されていない頃の物ですが、その後、強酸性水が真菌に対する殺菌作用が有ることは、多くの研究機関で発表されています。

多分赤い斑点は塩素による反応と考えられます、残留塩素濃度の高い強酸性電解水は、アメリカでも細胞変異の原因になると指摘されたことがあります。小川先生は、その後、強酸性電解水の殺菌作用は電位による物と言う学説を建てられました。よって精々１～２分も漬ければ十分と考えられますし、電位が高ければ、確実な水虫への殺菌作用があることも確認されています。但し、酸化還元電位は、絶対値

ではなく温度によって変化する物であるため、絶対温度で換算した電位が必要と解説されています。
この電位のことを電子活動度と言う単位で表現され、酸化還元電位が 1.000mv であっても真菌を死滅させられない電位（水温によって電位が変化する）であるときが有ると報告されています。
しかし、電子活動度をリアルタイムで計測する計器は非常に高額になるため、安全値（日本の歯科医院で使用される水温は 10～30℃程度）を見越して、酸化還元電位が 1.050mv 以上有れば殺菌できる強電解水ですと言うことが出来ると考えます。